

Pour paraître prochainement.

LES CHEMINS DE FER A NAVIRES

ET

LEURS APPLICATIONS

Cette brochure exposera l'état actuel de cette nouvelle industrie, dont l'utilité et le but sont aujourd'hui clairement démontrés, transporter les navires entre deux voies navigables séparées par des terrains ne se prêtant pas à l'établissement de canaux.

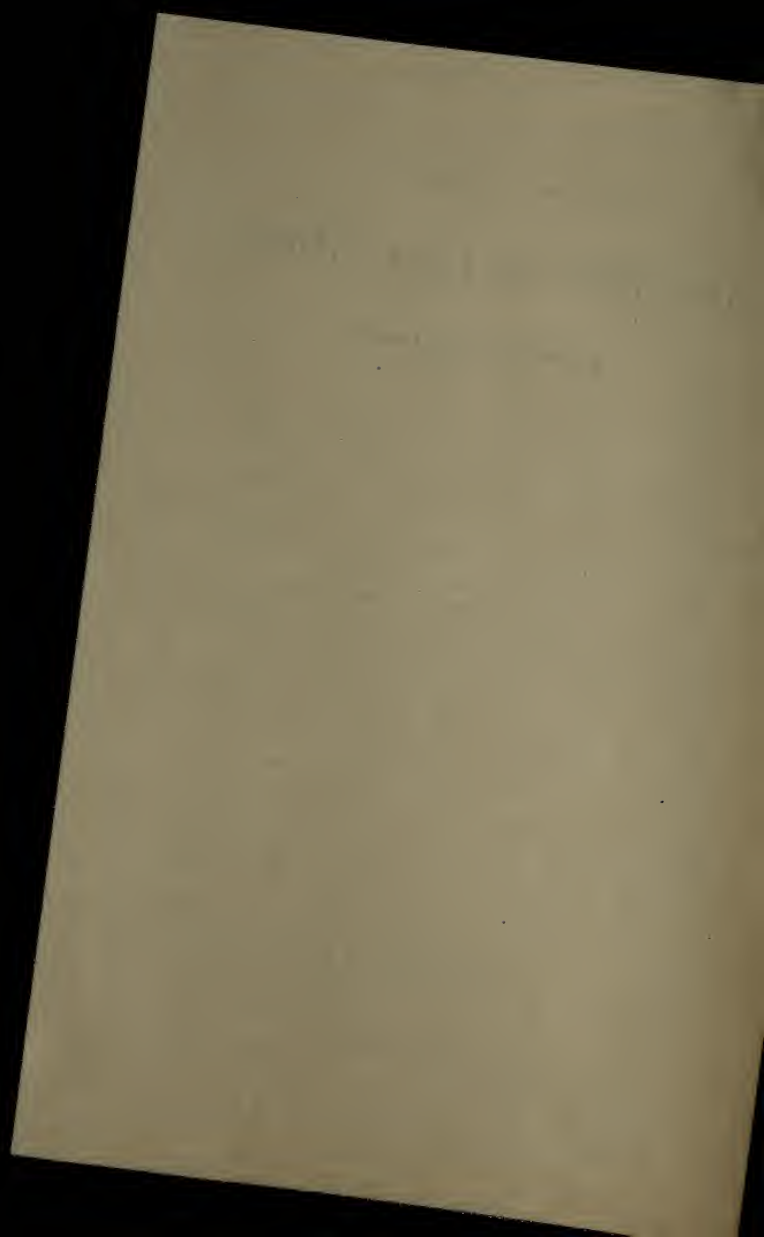
Elle indiquera les derniers perfectionnements apportés dans la construction des voies et du matériel.

Elle complètera le projet pour Panama exposé dans le présent Mémoire, et indiquera les moyens pour résoudre les difficultés signalées par la Commission technique de Panama qui en a fait l'objet d'un examen attentif.

Elle montrera la certitude de réaliser les conditions exposées au présent Mémoire, c'est-à-dire le transit établi en trois ans avec une dépense de 250 millions.

La Commission technique ayant compté 900 millions de dépense et huit ans de travaux pour établir un canal à écluses, quel que soit le système, le Chemin de fer à navires réalise seul le but, d'exiger un capital relativement peu élevé, facile à réaliser, et de laisser aux anciens porteurs une part importante des revenus.

La Société Française des Chemins de fer à Navires,
18, rue Boursault.



CHEMIN DE FER à NAVIRES DE PANAMA

AVEC

Achèvement ultérieur du Canal à niveau

PROJET AMÉDÉE SÉBILLOT

Le Transit établi en 3 ans

AVEC UNE DÉPENSE DE : 250 MILLIONS

PARIS

IMPRIMERIE V^e ÉTHIOU PÉROU ET FILS

RUE DE DAMIETTE, 2 ET 4

—
1890

626.9
65e2c

SOMMAIRE

	Pages
Avant-propos	5
CHAPITRE I :	
Les Projets de Canal. — Prix comparatifs du Canal à niveau et des Canaux à écluses. — Les Travaux exécutés et leur prix de revient réel. — Le Canal à niveau dans la vallée du Chagres. — Le Percement de la Culebra. — Insignifiance de l'économie qui peut être réalisée par un Canal à écluses. — Solution par une voie ferrée à navires provisoire, avec continuation du Canal à niveau.	7
CHAPITRE II :	
Historique des Chemins de fer à navires. — Sécurité du Transport à sec. — Le Projet du Tehuantepec. — Continuation du Canal à niveau jusqu'au kilomètre 41. — Le Transport sur voie ferrée réduit à 19 kilomètres 1/2. — Influence des eaux du Chagres sur la navigation du Canal	15
CHAPITRE III :	
Les Chemins de fer à navires. — Choix du Système. — Tirage en travers. — Tirage en long. — Les Moyens de locomotion. — Devis du Chemin de fer. — Le Chemin de fer pour navires de l'Isthme de Chignecto.	25
CHAPITRE IV :	
Évaluation du trafic. — Opinions diverses. — Capacité de transit du Chemin de fer à navires. — Matériel de transport. — Frais d'exploitation. — Prix de revient de la traction	35
CHAPITRE V :	
Considérations économiques. — Déficit et aléas pour le Canal à écluses. — Bénéfices du Chemin de fer à navires. — Répartition entre le capital nouveau et les anciens porteurs.	39
NOTES :	
I. — Extrait du Mémoire technique établi par la Société des anciens Établissements Caill.	43
II. — Sur l'achèvement ultérieur du Canal à niveau et l'utilisation du Chagres comme force motrice pour l'exécution des travaux.	57
III. — Lettre du Président des États-Unis de Colombie relative à la demande en concession du Chemin de fer à navires.	59

8 ju 27
de Rou

AVANT-PROPOS

La question de l'achèvement de l'entreprise du Panama arrive à une phase décisive.

Il faut que cette entreprise s'achève ; mais, après les sacrifices énormes demandés à l'épargne, un plan d'achèvement ne peut être adopté qu'avec la plus grande circonspection.

La liquidation est entrée dans cette voie par la nomination d'une Commission dont les travaux serviront de point de départ à l'examen des moyens d'achèvement.

Mais, en dehors des conclusions de cette Commission, qui, par le caractère de ses membres, seront revêtues d'une incontestable autorité, il est deux conditions essentielles qui dominent toute la question : c'est que tout projet d'achèvement doit donner la certitude, étant donné le revenu sur lequel on peut sûrement compter :

1° Que le capital à engager à nouveau sera rémunéré ;

2° Que le capital ancien puisse recevoir un intérêt.

La question est donc d'arriver à opérer le transit avec le minimum possible de temps et d'argent.

Or, il est désormais certain que, le Canal à niveau étant pour le moment hors de question, la substitution d'un Canal quelconque à écluses conduirait encore à une dépense exagérée, car elle excéderait certainement un milliard.

Le trafic évalué à 60 millions ne permettrait donc pas, au taux où le nouveau capital pourrait être souscrit, de rémunérer le capital et *à fortiori* ne laisserait aucune ressource disponible pour les anciens porteurs.

Une solution plus économique s'impose ; elle existe dans un nouvel ordre d'idées, le transport sur voie ferrée.

L'industrie moderne permet de transporter avec sécurité sur rails les masses les plus pesantes, et ce n'est pas là de la théorie pure, puisqu'il y a des exemples et qu'en ce moment même, une

voie ferrée comparable à celle proposée pour Panama s'exécute au Canada.

L'étude des conditions techniques a d'ailleurs été faite par la Société des Anciens Établissements Cail, dont l'autorité incontestable est une garantie pour l'exécution.

Or, la conséquence de l'achèvement de l'entreprise de Panama par ce moyen est de réduire la dépense à moins de 250 millions.

Alors la question change de face : au lieu d'un déficit certain auquel conduirait un projet à écluses, il reste sur un trafic de 60 millions, en comptant 8 % d'intérêt pour le nouveau capital, un excédent de recettes de 40 millions, sur lesquels on peut trouver la reconstitution du capital ancien et les moyens de donner un intérêt aux anciens porteurs.

De plus, comme le Canal à niveau est la solution la plus complète, la création d'un Bosphore libre comme à Suez, il y a intérêt à ne pas engager l'avenir.

Le projet de voie ferrée réalise complètement ce but, car il comprend, d'ores et déjà, l'achèvement de 20 kilomètres à niveau dans les terrains faciles, et ne s'oppose aucunement à la continuation du Canal à niveau.

En résumé, le chemin de fer à navires offre la solution incomparablement la plus économique; il satisfait à tous les intérêts dans le présent et réserve l'avenir.

Nous pensons que cette conviction résultera clairement du travail qu'on va lire.

Paris, le 15 Février 1890.



CHAPITRE I

Les projets du Canal. — Prix comparatifs du Canal à niveau et du Canal à écluses. — Les travaux exécutés et leur prix de revient réel. — Le Canal à niveau dans la vallée du Chagres. — Le percement de la Culebra. — Insignifiance de l'économie qui peut être réalisée par un Canal à écluses. — Solution par une voie ferrée à navires provisoire, avec continuation du Canal à niveau.

Les moyens
d'achèvement
proposés.

Avant d'exposer le projet du chemin de fer à navires, il nous a paru nécessaire de rechercher, d'après les documents les plus certains, quelle serait la dépense de temps et d'argent pour achever le Canal de Panama, suivant les diverses solutions proposées.

En dehors du chemin de fer à navires, il y avait deux moyens :

- 1° Ou continuer le Canal à niveau ;
- 2° Ou établir le Canal à écluses.

La première question à examiner est si les difficultés, que présente le Canal à niveau, sont atténuées dans une proportion suffisante par l'emploi d'écluses pour que cette substitution puisse être envisagée, malgré l'incontestable avantage du Canal à niveau au point de vue du trafic, et de la sécurité.

La cause qui a amené l'abandon du Canal à niveau est qu'une faible portion du capital a été réellement utilisée pour ces travaux.

Prix payés
aux entrepreneurs.

Voici le relevé des entreprises par lesquelles ces travaux ont été exécutés, et leur prix de revient :

MM. Baratoux Letellier et C^{ie} ont exécuté 6,800,000 mètres cubes pour 37 millions de francs, soit 5 fr. 46 c. le mètre cube.

MM. Artigue Sondregger et C^{ie}, 2 millions de mètres cubes pour 30 millions, soit 15 francs par mètre cube.

La Société des Travaux publics et Constructions, 3 millions de mètres cubes pour 79 millions, soit 26 fr. 33 c. le mètre cube.

L'American Dredging Company, 16 millions de mètres cubes pour 79 millions, soit 4 fr. 40 c. par mètre cube.

M. Jacob, 2,500,000 mètres cubes pour 17 millions, soit 7 francs par mètre cube.

M. Eiffel, 843,000 mètres cubes pour 57 millions.

(Il faut remarquer que ce contrat interrompu par la mise en liquidation ne répond pas à des conditions normales.)

L'ensemble de ces contrats s'élève à 290 millions, et, comme ce chiffre représente la plus grande partie du travail réel, il fait ressortir l'énormité du capital absorbé par l'organisation de l'entreprise, les intérêts pendant la construction, les frais généraux pour les emprunts et la direction des travaux. Il est juste d'ajouter aussi qu'il a été fait un travail beaucoup plus considérable qu'on ne le suppose, et que le matériel, maintenu en bon état par la liquidation, représente une somme importante.

Notre but n'est pas, d'ailleurs, d'examiner comment une si faible partie du capital engagé a été appliquée aux travaux, mais de dégager le prix normal auquel doivent revenir les terrassements.

Or, il résulte des chiffres précités que le prix du mètre cube est de 5 francs environ, quand il s'agit de dragages et d'excavations à sec dans les terrains friables; que pour les déblais au rocher, la moyenne a été de $\frac{15+26,33}{2}$ soit environ 20 francs par mètre cube.

Ces chiffres ayant la valeur qui résulte de contrats exécutés peuvent peut-être être améliorés dans une certaine mesure, mais ils sont seuls capables de servir de base à une évaluation certaine pour les travaux à exécuter.

Sur ces données, quel serait le prix d'achèvement du Canal à niveau et du Canal à écluses qu'il a été proposé de lui substituer?

Prix d'achèvement
du Canal dans la
vallée du Chagres

Dans l'hypothèse de la continuation du Canal à niveau, il y a deux parties distinctes à considérer, l'une, du kilomètre 22 au kilomètre 41 dans la vallée du Chagres; l'autre, du kilomètre 41 au kilomètre 60,50, qui forme le passage de la Culebra.

La première partie ne comprend, sauf un faible cube de rocher, que des terrains friables, argiles, sables, graviers, faciles à extraire à la drague ou à l'excavateur à sec et rentrant par conséquent dans la

catégorie des terrains auxquels peut être affecté un prix d'entreprise de 5 francs par mètre cube.

D'après les profils en long dressés par la Compagnie, le cube restant à extraire, déduction faite de celui exécuté, comprend :

14,000,000 de mètres cubes à draguer ;

1,000,000 — à extraire dans le rocher.

L'exécution de ces travaux est d'autant plus facile que la Compagnie possède un matériel considérable précisément d'appareils propres aux terrains de cette partie du Canal; il est reconnu que ce matériel a fait, de la part de M. Brunet, l'objet d'un entretien sérieux et qu'il faut peu de chose pour que le travail puisse reprendre sans retard; d'après nos renseignements, il resterait, précisément dans cette partie, le matériel suivant :

A Tavernilla, 4 dragues de 180 chevaux, 3 excavateurs, système Buette, 3 excavateurs Demange et Satre, 2 excavateurs Weyher et Richmond, plus un matériel de locomotives, wagons et pompes ;

A San Pablo, 2 dragues de 180 chevaux, 2 excavateurs ;

A Gorgona, 3 dragues de 180 chevaux et 6 excavateurs et matériel divers.

C'est-à-dire qu'il y a sur place presque tout le matériel nécessaire pour exécuter les travaux entre Peña, Blanca et Matachin, à raison de 700,000 mètres cubes par mois, chiffre d'ailleurs réalisé sur les chantiers.

Si l'on applique aux quantités reconnues sur la partie à terminer au Canal à niveau les prix d'entreprise réalisés, on arrive aux dépenses suivantes :

14,000,000 ^{m³} à 5 francs	70,000,000
1,000,000 ^{m³} à 20 francs	20,000,000
TOTAL . . .	90,000,000

C'est-à-dire que les terrassements de cette première section peuvent être donnés à l'entreprise pour un prix qui n'excédera pas 90,000,000 de francs; et que le canal peut être terminé jusqu'au kilomètre 41, à Matachin, en ne laissant plus que 19 kil. 500 entre Matachin et Pedro Miguel pour effectuer la jonction entre les deux Océans ; mais là s'accumulent les difficultés.

Difficulté que présente la Culebra.

En effet, en même temps que le relief des terrains s'accroît, leur nature se modifie et, aussitôt après Matachin, on entre dans le rocher.

Sur les chantiers du Bas et Haut-Obispo, d'Imperador et jusqu'à Pedro Miguel, on ne rencontre plus que des grès conglomériques, argilolithes, basaltes, schistes houillers, toutes roches qui excluent l'emploi des excavateurs.

A la Culebra, cette nature du terrain se complique d'alternances de terrains ébouleux, sables et schistes argileux, coupés par des bancs de grès et schistes houillers, ce qui augmente considérablement le cube à extraire, précisément dans cette partie où la cote au-dessus du plafond du Canal atteint 110 mètres de hauteur sur près d'un kilomètre.

Là est le gros du travail pour le Canal à niveau, et nous allons chercher à l'évaluer; pour cette seconde partie, on obtient très approximativement les résultats contenus dans le tableau suivant :

DISTANCES SUR LE PROFIL	CUBE DE TERRASSEMENTS	NATURE DU TERRAIN (ROCHES DOMINANTES)
Du k. 43.50 au k. 46	3.800.000 ^{m³}	Grès conglomérique.
Du k. 46 au k. 48	3.600.000	Id.
Du k. 48 au k. 60	9.558.000	Conglomérats basaltiques.
Du k. 50 au k. 52	10.080.000	Argilolithe dur.
Du k. 52 au k. 54	11.500.000	Argilolithe, schiste houiller
Du k. 54 au k. 55	15.700.000	Terrains ébouleux et rochers
Du k. 55 au k. 56	8.400.000	Id.
Du k. 56 au k. 58	9.500.000	Grès, poudingue, schiste.
Du k. 58 au k. 59.500	2.800.000	Schiste, grès, dolérite.
TOTAL du cube . . .	79.938.000	

Il faut cependant remarquer qu'un tiers environ de ce cube, tant à la partie supérieure que dans la partie centrale de la Culebra,

est composé de terrains friables, de telle sorte que le prix d'entreprise peut s'établir ainsi :

Terrains friables, 27,000,000 ^{m³} à 5 francs.	135,000,000 francs.
Terrains rocheux, 53,000,000 ^{m³} à 20 francs.	1,160,000,000
TOTAL	1,295,000,000 francs.

Dans quelle proportion l'adoption d'un système d'écluses peut-elle réduire cette dépense?

Ici, il est difficile de raisonner sur des données précises, car les projets de Canal à écluses sont nombreux; ils varient suivant la cote de relèvement du plan d'eau, et le nombre des écluses est très variable suivant les projets, 10, 8, 6, et même 2 écluses.

Toutefois, il semble résulter de l'ensemble des études faites sur ces divers projets que les écluses économisent environ 40 millions de mètres cubes sur le Canal à niveau, ce qui réduirait à 40 millions de mètres cubes les terrassements à faire dans la Culebra, et par suite à :

$$\frac{1,295,000,000}{2} = 647,500,000 \text{ francs}$$

la dépense de terrassements pour faire franchir à un Canal à écluses le massif de la Culebra.

Mais, à cette somme, il faudrait ajouter le prix des maçonneries et fouilles pour les écluses, les ouvrages métalliques et autres dépenses assez variables suivant les divers projets.

Les écluses seules sont évaluées à environ 200 millions et si on ajoute les autres dépenses, il semble difficile de compter moins de 3 à 400 millions qui viennent atténuer l'économie de ce système.

Nous trouvons dans la correspondance de l'envoyé spécial du *Petit Journal* une conclusion à peu près identique.

Il établit ainsi :

1° Qu'un peu plus du quart des travaux à faire *en vue de l'achèvement du Canal à écluses* est exécuté;

2° Qu'il reste encore à extraire entre Colon et Panama, toujours pour le Canal à écluses, quarante millions de mètres cubes.

A ce chiffre, il convient d'ajouter : les travaux de dérivation du Chagres, les travaux de déviation du Panama-Rail-Road, la construction des écluses et les parachèvements des parties du Canal à peu près terminées. »

Peut-être trouverait-on, en définitive, une économie de 25% sur le Canal à niveau, mais il n'en est pas moins vrai que la dépense d'un Canal à écluses restera encore considérable et qu'elle serait très probablement supérieure à un milliard.

Cette économie ne nous semble pas de nature à distinguer d'une manière frappante le Canal à écluses du Canal à niveau.

Le défaut commun au Canal à niveau et au Canal à écluses, c'est qu'il y a un travail considérable à faire sur place, et que dans les conditions climatiques de l'Isthme, les difficultés rencontrées par l'ancienne Compagnie se reproduiront fatalement.

Peut-être ces difficultés se trouveraient-elles aggravées par le cube important des maçonneries à effectuer et qui forme un redoutable aléa ; en effet, il faudrait entretenir un corps nombreux d'ouvriers d'état, les matériaux propres à la construction sont très rares dans l'Isthme et il est impossible de prévoir même approximativement le prix du mètre cube de maçonnerie.

Il a été, il est vrai, présenté des devis pour le Canal à écluses beaucoup inférieurs à celui qui résulte des appréciations ci-dessus, mais ils sont basés sur des prix élémentaires qui n'ont pas été pratiqués et qu'il est impossible de justifier.

En prenant comme base les prix résultant de contrats exécutés et qui l'ont été dans des conditions normales, comme ces conditions se représenteront forcément, l'évaluation à laquelle nous sommes arrivés représente le minimum des dépenses réelles sur lesquelles il faut compter.

C'est qu'en effet, aux prix d'entreprise, il faut ajouter les charges financières pour le service des intérêts au nouveau capital pendant la construction et les frais généraux de toute nature.

Comme il ne faut compter qu'une partie de l'année utilisée pour les travaux, on évalue à cinq ans au moins le temps nécessaire à l'exécution pour un Canal à écluses, ce qui élève dans une proportion importante le prix de revient.

En résumé, le Canal à écluses offre-t-il un avantage bien mar-

qué sur le Canal à niveau ? C'est contestable, et, dans un cas comme dans l'autre, la dépense à faire est hors de proportion avec les revenus du transit, qui seraient, ainsi qu'on le verra, insuffisants, non seulement pour donner une rémunération quelconque aux capitaux engagés, mais même pour le capital nouveau qui serait nécessaire à l'exécution des travaux. *

Dans cette situation, il faut donc, de toute nécessité, recourir à un mode plus économique pour établir le transit, s'il est démontré qu'il est pratiquement réalisable, qu'il est incomparablement plus économique et qu'il offre moins d'aléa.

Tel est l'objet du projet de chemin de fer à navires qui peut se résumer ainsi dans ses lignes principales.

Le canal serait terminé à niveau jusqu'au kilomètre 41, c'est-à-dire dans la partie facile à exécuter ; la Culebra serait franchie par une voie ferrée du kilomètre 41 au kilomètre 60, 50, sur une distance de 19 kil. 50.

Ces travaux peuvent être exécutés en deux ans ou trois ans au plus, avec une dépense de 250 millions.

Par suite, les conditions économiques de l'entreprise peuvent se trouver complètement modifiées.

Les revenus du transit, étant évalués à 60 millions, sont suffisants :

- 1° Pour rémunérer le nouveau capital ;
- 2° Pour donner un intérêt aux anciens porteurs ;
- 3° Pour constituer une réserve qui permettra, dans un avenir plus ou moins éloigné, de réaliser le canal à niveau, c'est-à-dire la communication libre et sans entraves entre les deux Océans.

Ce moyen nouveau est réalisable en raison des progrès de la

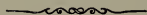
* Dans l'examen comparatif qui précède entre le Canal à niveau et les projets de Canal à écluses, qui ne diffèrent entre eux que par des nuances, nous ne pouvons attribuer aux chiffres posés ci-dessus une valeur absolue.

Ils ont une valeur de comparaison de laquelle il résulte qu'un Canal à écluses conduit à une dépense du même ordre que le Canal à niveau, et le plus grand défaut des projets à écluses est qu'il rendrait impossible, pour une économie relativement peu importante, l'ouverture d'un Bosphore libre à travers l'Isthme américain, qui est la forme dernière et la seule solution complète du problème, mais possible seulement dans un temps éloigné.

science et de l'art des constructions métalliques; il est d'ailleurs basé sur l'expérience déjà acquise par les cales de halage, les plans inclinés et autres applications du transport des grandes masses sur voies ferrées.

La certitude des résultats repose d'un autre côté sur les études faites pour la voie ferrée de Panama par la Société des anciens Établissements Cail; les devis sont précis, et ne peuvent être influencés par les conditions spéciales du climat de Panama, puisque la plus grande partie du travail se fait en France.

Ces faits donnent un intérêt particulier à cette solution, au sujet de laquelle il est utile d'entrer dans quelques développements.



CHAPITRE II

Historique des chemins de fer à navires. — Sécurité du transport à sec. — Continuation du Canal à niveau jusqu'au kilomètre 41. — Le transport sur voie ferrée réduit à 19 kilomètres. — Innocuité de Chagres pour un canal à niveau.

Origine du chemin
de fer à navires.

L'idée de faire franchir l'Isthme de Panama aux navires, en les transportant sur une voie ferrée, devait se présenter à l'esprit, en présence des difficultés énormes que présentait l'établissement d'un canal et des progrès de la mécanique.

La première étude remonte à l'année 1871, et fut publiée par l'auteur du projet à la suite d'une exploration dans l'Isthme accomplie dans l'année 1869.

Les navires devaient être transportés à l'aide d'un sas mobile rempli d'eau.

Toutefois, il fut reconnu que le transport dans l'eau compliquait la difficulté en exigeant le transport d'un poids inutile, et qu'il était parfaitement possible de transporter les navires à sec en les étayant convenablement sur des docks roulants.

Il était d'autant plus rationnel d'adopter cette nouvelle forme que cette opération est celle qui se pratique dans les cales de halage, soit en long, soit en travers, dans les ports, pour le carénage des navires.

Des cales de halage, dans lesquelles les navires sont tirés à sec, sont établies à Bordeaux, à Rouen, à l'arsenal de Fou Tcheou, aux îles Hawaï, et nombre d'autres ports.

Opinion des
Ingénieurs anglais
et américains.

Les craintes d'avarie aux navires par un transport de cette nature ont été reconnus unanimement chimériques par les Ingénieurs les plus autorisés, pour cette raison bien simple que les navires sont construits de manière à supporter par l'effet de la mer des efforts auprès desquels l'action statique du poids du navire et de son chargement est absolument négligeable.

Suivant l'expression de sir Edwards Reed, dans le *New-York Herald* du 2 décembre 1881, si un navire ne pouvait supporter le transport à sec, c'est qu'il serait démoli immédiatement par la moindre grosse mer.

Ces conclusions ont été adoptées dans plusieurs meetings qui ont eu lieu à l'occasion d'un projet analogue pour la traversée de l'Isthme de Tehuantepec, car il est remarquable que la même idée du transport à sec des navires était, peu de temps après les publications faites en France, proposée par un Ingénieur célèbre aux États-Unis, le capitaine Eads, dont les projets sont aujourd'hui poursuivis par une Compagnie dont le siège est à New-York.

Du reste, la pratique de la navigation le prouve, par les opérations précitées du carénage, par l'échouage dans les ports à marée des navires chargés ou non, et le temps n'est pas encore bien éloigné où les grands steamers s'échouaient à marée basse dans le port du Havre : les vapeurs de Trouville, de Southampton subissent encore cet échouage journallement, sans préjudices à leurs coques.

Dans une nouvelle étude qui parut en 1879, et qui fut communiquée à la Compagnie du Canal de Panama alors en formation, les devis étaient établis sur cette donnée du transport des navires à sec.

Les difficultés que l'expérience a révélées, pour l'établissement d'un Canal à niveau ou même à écluses, sont venues donner à cette question une actualité nouvelle, et l'économie de cette solution est telle qu'elle semble aujourd'hui pouvoir seule résoudre les difficultés financières insolubles par d'autres moyens.

Projet établi par la
Société Cail.

L'auteur du projet a obtenu de nos éminents constructeurs, la Société des Établissements Cail, l'étude des plans et devis des appareils propres à réaliser le but, et le résultat de ce travail a été soumis à la Commission de Panama qui, pénétrée de son rôle de faire connaître la vérité et de rechercher la solution la plus conforme aux intérêts engagés, a bien voulu comprendre cette étude parmi les solutions à examiner, après que les études sur place seront terminées.

Les études ont d'abord porté sur l'établissement d'une voie ferrée du kilomètre 22 au kilomètre 60,5 ; le projet contenu dans

cette étude en est une variante justifiée par la pensée de réserver l'achèvement du Canal à niveau.

Les explications qui vont suivre ont pour objet de fournir un supplément d'informations sur les questions techniques et financières qui se rattachent à ce projet, et sur les conséquences qu'il pourrait produire sur l'avenir de l'entreprise de Panama.

S'il s'agissait d'une œuvre nouvelle, et si l'on avait à appliquer ce système sur un terrain vierge, il y aurait à chercher un tracé spécial qui pourrait être très différent de celui qui convient à un Canal; mais dans la situation telle qu'elle a été engagée par les travaux de la Compagnie du Canal, il faut prendre en considération, d'une part, le travail exécuté, beaucoup plus considérable qu'on ne le suppose, et de l'autre, réserver l'avenir pour l'achèvement à niveau du Canal.

Dans l'état actuel, sur la distance totale de 63 kil. 5, d'un Océan à l'autre, il a été exécuté 22 kilomètres sur le versant Atlantique, 4 kilomètres sur le versant Pacifique.

Nous avons reconnu que sur les 37 kil. 5 restant à faire, il y en avait 19 dans la vallée du Chagres pouvant être terminés à niveau avec une dépense relativement faible, et 18 kil. 1/2 dans la partie montagneuse où se trouvent concentrées toutes les difficultés.

C'est uniquement le percement de la Culebra qui conduit à des chiffres énormes pour un Canal à niveau ou pour un système quelconque d'écluses.

Au point de vue du chemin de fer à navires, la voie tracée par la Compagnie du Canal et la valeur réelle des travaux exécutés ramènent la question à des termes simples.

Il faut tout d'abord et évidemment profiter des parties de Canal à niveau exécutées.

Ensuite, quel doit être le point de départ de la voie ferrée?

Doit-on prendre comme point de départ la limite à laquelle s'arrête aujourd'hui le Canal à niveau, auquel cas on aurait à établir 37 k. 500 de voie ferrée, ou bien doit-on continuer le Canal à niveau jusqu'au pied de la Culebra au kilomètre 41, de manière à réduire la traversée sur rails à 19 kil. 1/2?

La question se trouve tranchée par le chiffre précis auquel nous

a conduit l'application des prix de travaux exécutés pour la partie comprise entre le kilomètre 22 et le kilomètre 41.

Nous avons reconnu que le devis des prix d'entreprise pour cette partie s'élevait seulement à 90 millions, soit un peu plus de 4 millions par kilomètre, c'est-à-dire que, tandis que le chemin de fer produit pour la traversée de la Culebra une économie immense, cette économie n'existe pas pour cette partie, en raison du peu de relief du sol et de la nature friable des terrains.

Étant donné, d'autre part, la convenance de réserver la continuation du Canal à niveau, il est plus naturel de poursuivre celui-ci jusqu'au point où commencent les difficultés et les dépenses élevées.

Les bases du projet

D'où cette solution simple,

Continuer le Canal à niveau jusque vers Matachin ;

Établir une voie ferrée à navires de 19 kil. 1/2, entre Matachin et Pedro Miguel.

Toutefois, pour élucider complètement cette importante question, il faut examiner l'influence du Chagres sur l'une ou l'autre solution.

Pour le chemin de fer, la question ne le touche pas, attendu qu'il passe par-dessus le Chagres, comme le chemin de fer actuel.

En est-il de même pour le Canal à niveau, en admettant qu'il soit poursuivi jusqu'à Matachin ?

C'est là le point à examiner.

**Importance du
Chagres.**

Eh bien, nous devons reconnaître que l'on a singulièrement exagéré l'influence du Chagres, en ce qui concerne le Canal à niveau, parce que l'on n'a pas tenu compte d'un fait capital, la capacité d'écoulement du Canal à niveau.

Cette capacité est-elle suffisante, étant donnée la rapidité des crues du Chagres et l'importance du volume qu'il débite alors, pour qu'on puisse affirmer qu'il n'en résultera aucun dommage ni pour le Canal lui-même, ni pour la navigation ?

C'est ce que je me propose de démontrer.

Le Chagres est un fleuve dont le cours est d'environ 150 kilo-

mètres, et qui est le collecteur des eaux d'un bassin dont la superficie ne dépasse pas 100,000 hectares : la largeur normale de son lit est de 45 mètres, bien qu'elle paraisse beaucoup plus considérable dans des points spéciaux où il s'étale, comme à Barbacoas.

C'est donc en réalité un très petit fleuve assez comparable comme régime et comme débit avec le Var ou l'Hérault en France, mais inférieur encore à ces cours d'eau comme étendue du bassin et volume des crues.

Débit du Chagres
en basses eaux et
en crues.

En basses eaux, il est presque à sec et son module ou débit moyen est d'environ 30 mètres cubes par seconde.

Il est, il est vrai, comme les cours d'eau précités, sujet à des crues subites par suite des pluies torrentielles qui se produisent dans l'Isthme pendant certaines saisons.

Alors son débit augmente, et le niveau du fleuve s'élève subitement de 7 à 8 mètres.

C'est la rapidité de ces crues qui a si vivement impressionné ceux qui en ont été témoins, et donné au Chagres la réputation d'un torrent dévastateur, impossible à contrôler, et capable d'exercer sur le canal une influence désastreuse.

C'est là une opinion absolument exagérée, ainsi qu'il résulte des documents officiels ci-après.

Le niveau des eaux s'élève de 7 à 8 mètres dans le Chagres, parce qu'il a un lit très étroit et irrégulier, mais le canal à niveau a une capacité d'écoulement beaucoup plus considérable.

Puissance d'écou-
lement du canal à
niveau.

La section d'écoulement avec une profondeur de 9 mètres et 60 mètres à la ligne d'eau atteint 400 mètres carrés ; cette section augmente rapidement par suite de l'inclinaison des berges, de telle sorte que la vitesse d'écoulement reste dans les limites modérées, même pendant les crues : on trouvera plus loin les calculs justificatifs qui montrent ce que deviendra le régime du Canal, considéré comme dérivation du Chagres.

Que peut-on redouter ? Dans le canal à niveau, il n'y a pas d'ouvrages ; l'écoulement est libre : s'il y a une légère altération du profil par l'érosion due au courant qui peut exister exceptionnelle-

ment, le même courant enlèvera les produits de l'érosion en produisant un effet de chasse. Il est d'ailleurs reconnu que les berges dans les parties exécutées ont bien tenu, malgré les pluies torrentielles.

Le seul point à examiner, c'est si, le canal opérant comme dérivation du Chagres, la navigation n'en n'aura pas à subir de dangers et d'interruptions.

A cet égard, les données d'expérience sont des plus rassurantes, comme le démontrent les relevés officiels ci-après sur la pluviométrie de l'Isthme et le régime du Chagres.

Suivant la communication faite à l'Académie des Sciences par M. Lesseps, le 26 février 1883, les observations pluviométriques ont donné sur une moyenne de quatre années.

	Nom des mois	Hauteur d'eau dans le mois	TOTAUX
SAISON PLUVIEUSE	Mai	0 ^m ,190	1 ^m ,518
	Juin	0 ^m ,200	
	Juillet	0 ^m ,194	
	Août	0 ^m ,173	
	Septembre	0 ^m ,190	
	Octobre	0 ^m ,241	
	Novembre	0 ^m ,320	
SAISON SÈCHE	Décembre	0 ^m ,070	0 ^m ,203
	Janvier	0 ^m ,013	
	Février	0 ^m ,015	
	Mars	0 ^m ,040	
	Avril	0 ^m ,070	
HAUTEUR TOTALE pour une année			1 ^m ,726

La quantité d'eau reçue pendant une année par le bassin du Chagres est donc de $1,726 \times 100,000 \times 10,000 = 1,726,000,000$ de mètres cubes ; la plus forte quantité tombée dans un mois est de 320,000,000 de mètres cubes, ce qui donne pendant ce mois un débit moyen de 125 mètres cubes par seconde ; or ce débit ne donnerait à l'eau dans le canal qu'une vitesse de 0^m,30 en moyenne pour le plus mauvais mois de l'année.

C'est la vitesse normale du canal de l'Oureq, qui est un des

exemples les plus connus de canaux à courant, et un courant de cette vitesse est sans inconvénient pour la navigation.

D'autre part, il résulte des rapports de M. Dingler qu'en année moyenne, il n'y a qu'une crue de 48 heures à la fin de la saison pluvieuse, avec un débit de 665 mètres cubes par seconde.

Le même rapport cite néanmoins la crue de 1879, dont les relevés ont été faits par le colonel Totten et qui a duré six jours, en atteignant un débit de 1,600 mètres cubes par seconde.

Influence des eaux
du Chagres sur
la navigation du
Canal.

D'après les données qui précèdent, nous allons chercher à apprécier les conditions dans lesquelles peut s'effectuer la navigation dans la partie du Canal ainsi transformée en un fleuve artificiel.

Le Canal est alors assimilable à un fleuve dans sa partie maritime dont le lit est sensiblement horizontal et dont l'écoulement s'effectue en vertu de la pente superficielle : tel est le régime de la Seine maritime entre Rouen et la Mer sur une distance de 100 kilomètres.

Dans le Canal de Panama, la partie qui serait exécutée à niveau aurait une longueur de 41 kilomètres.

Sur la distance comprise entre le kilomètre 9 et le kilomètre 41, l'écoulement se ferait par le Canal seul, et du kilomètre 9 à la Mer par le Canal et l'ancien lit du Chagres, qui présente alors une largeur de 100 mètres environ et qui offrirait ainsi un accroissement considérable de la section d'écoulement.

C'est donc sur 32 kilomètres que le Canal doit suffire seul à l'écoulement des eaux.

Le plafond du Canal étant horizontal, l'écoulement se fera en raison d'une pente superficielle variable avec le volume d'eau à débiter et produisant une surélévation du niveau au point d'origine, c'est-à-dire au point où le Chagres se déverse dans le Canal.

La section normale est de 400 mètres carrés, le périmètre mouillé de 56 mètres; on sait d'ailleurs qu'il n'y a pas de marée dans l'Atlantique et que, par suite, il n'y aura pas de reflux du côté de la mer.

Sur ces données, il s'agit d'apprécier quelle sera la vitesse du courant suivant les différents états du Chagres et la pente qui en résultera.

C'est une question d'hydraulique qui se résout par la formule de Prony.

$$I = \frac{P}{S} (a v + b v^2)$$

I Pente superficielle par mètre.

P Périmètre mouillé.

S Section d'écoulement.

v Vitesse moyenne.

a = 0,000,0444.

b = 0,000,309.

Appliquons cette formule aux différents états du Chagres suivant le volume des eaux :

1° État normal ;

Dans son état normal, le Chagres débite 30 mètres cubes par seconde.

La formule donne alors une pente de 0,0000007 par mètre, et une surélévation totale de 2 c/m 17 ; le courant est de 0^m,075 : par conséquent, dans l'état normal, ce sont des quantités absolument négligeables.

2° Hautes eaux ;

Le maximum des hautes eaux qui se produit généralement en Novembre correspond à un volume de 125 mètres cubes par seconde, en négligeant ce qui est absorbé par l'évaporation et l'infiltration, c'est-à-dire en admettant que toute la quantité d'eau tombée dans le mois soit écoulée par le Chagres.

La vitesse est alors de 0^m,31 par seconde, la pente par mètre de 0,0000058, et l'élévation de niveau à l'origine de 0^m,108.

Les hautes eaux moyennes ne peuvent donc causer aucune entrave à la navigation : il reste à examiner ce qui se passera dans les crues.

3° Crue d'automne des années moyennes atteignant un débit de 665 mètres cubes par seconde.

En ne tenant pas compte de l'accroissement de section qui se produira par l'évasement des berges, la vitesse du courant atteindrait 1^m,67 par seconde; la pente par mètre s'élève à 0,0001316, et le niveau s'élève à 4^m,20 au point d'origine.

En réalité, cette élévation ne sera pas atteinte, car l'augmentation de la section d'écoulement tend à réduire la vitesse.

Il résulte de là que, pendant ces crues, les navires rencontreraient un courant de 5 à 6 kilomètres à l'heure, qui n'est pas de nature à empêcher la navigation.

Ces crues sont d'ailleurs de peu de durée; M. Dingler leur assigne une durée de 48 heures, ce qui ne serait pas d'un grave inconvénient, lors même que la navigation serait suspendue, ces crues ne se produisant généralement qu'une fois dans l'année à la fin de la saison pluvieuse.

4° Crue de 1,600 mètres cubes.

Pendant ces crues, la navigation serait interrompue, mais il résulte des relevés que ces crues sont tout à fait exceptionnelles; elles se sont produites en 1879 et en 1888 et semblent ainsi se présenter à des intervalles éloignés, tous les huit ou neuf ans.

L'importance de ce fait accidentel n'est donc pas plus grande que ce qui s'est produit plusieurs fois à Suez, l'échouement d'un navire dans le canal.

Il pourra y être remédié plus tard par un barrage régulateur à Gamboa, mais il nous a semblé que du moment que la navigation du canal est assurée pendant toute l'année et ne peut être interrompue que pendant quelques jours, à des intervalles très éloignés, il ne fallait pas attribuer à ce fait accidentel une importance exagérée.

Cet inconvénient disparaîtrait d'ailleurs presque complètement, lorsque le canal à niveau serait terminé, l'écoulement de l'eau se faisant alors sur les deux versants.

Le canal à niveau présente d'ailleurs entre le k. 41 et le k. 9, une hauteur de berges suffisante pour l'écoulement des eaux sans débordements.

En effet, au point de départ, les cotes du terrain au-dessus du plafond sont à 25 mètres, ce qui assure contre tout débordement,

attendu qu'il faudrait une crue de 14 mètres, tandis que le calcul ne donne qu'une hauteur de 7 mètres pour le maximum des crues.

En résumé, les crues du Chagres qui peuvent occasionner un arrêt de la navigation ne sont pas de nature à entraver la régularité du service du canal d'une manière appréciable; il faut en tenir compte dans l'établissement des ouvrages, mais elles ne peuvent être considérées comme un obstacle, ni à l'exécution du canal à niveau, ni à celle de la voie ferrée et de son exploitation.

Les précautions à prendre pour que l'effet des crues exceptionnelles soit réduit aux proportions d'un arrêt momentané très rare sont trop simples pour qu'il soit nécessaire d'insister.

**Tracé du chemin
de fer.**

En vue de la continuation du Canal à niveau par la Culebra, le tracé de la voie ferrée a été dévié vers la droite, en allant vers Panama.

Il passe alors par le plateau du Lirio, qui est à une cote moins élevée que la Culebra et offre un terrain très solide pour les fondations de la voie: la voie ferrée étant ainsi rendue absolument indépendante du Canal, celui-ci peut-être poursuivi sans qu'il y ait à se préoccuper de la voie existante.

Pour le tracé, le matériel et les conditions de marche du chemin de fer, on doit se reporter à la note technique n° 1, rédigée d'après les études de la Société Cail.

On verra dans cette note que le transport des plus grands navires n'implique pas de conditions en dehors de la pratique ordinaire de la construction et des chemins de fer.

En ce qui regarde la voie notamment, les charges sur le sol ne diffèrent pas de ce qui est adopté sur les chemins ordinaires; cependant elle est établie avec une solidité extraordinaire pour éviter toute trépidation: la voie est non plus posée, mais construite de manière à offrir une surface de roulement indéformable; les conditions techniques du problème nous ont ainsi conduit à appliquer le principe des anciens constructeurs romains, *Struere viam*.

D'après ce principe, la voie n'est pas sujette à des déplacements, comme le serait une voie simplement posée; c'est une charpente continue comme un pont métallique, assurant une surface de roulement uniforme et indéformable.

CHAPITRE III

*Les chemins de fer à navires. — Choix du système. — Tirage en travers.
— Tirage en long. — Les moyens de locomotion.*

Deux systèmes pour
le transport des
navires sur la voie
fermée.

Comme dans l'opération du tirage à sec pour le carénage des navires, il faut arriver à sortir de l'eau les navires, opération qui est effectuée de deux manières différentes, soit en faisant entrer le navire au-dessus d'un berceau qui est remonté sur une pente: c'est le halage en travers des ponts de Rouen et de Bordeaux; soit en les faisant arriver sur un berceau dans le sens de la longueur pour faire remonter une pente suivant l'axe longitudinal du navire jusqu'à le faire émerger: c'est le halage en long, ou *patent slip*, très usité en Angleterre dans les ports et chantiers de construction.

Dans ces opérations, le but cherché est simplement de tirer le navire pour que sa carène puisse être visitée et réparée; dans un chemin de fer à navires, le même problème se présente, mais, en outre, il faut lui faire parcourir une certaine distance sur terre, afin d'effectuer un service de transit avec la rapidité que comporte le mouvement de la navigation.

Comme pour les opérations de carénage, le transit des navires sur une langue de terre comporte donc deux solutions entre lesquelles le choix est déterminé par des circonstances locales, notamment l'inclinaison du sol.

Les deux moyens ont été examinés comparativement au point de vue de l'application à Panama, les moyens de transport et de traction et les voies restant d'ailleurs les mêmes, quel que soit le mode adopté pour tirer les navires hors de l'eau.

La mise sur rails
par halage en tra-
vers.

Dans le halage en travers, le navire est amené au-dessus d'un berceau qui est posé sur des rails inclinés à 40°. Ce berceau se termine par une plate-forme horizontale portant des rails perpendi-

culaires aux premiers et qui peuvent recevoir les docks roulants sur lesquels les navires seront transportés.

Ce berceau est mis en mouvement par un système de presses hydrauliques ayant leurs cylindres disposés suivant le plan incliné; ces presses hydrauliques sont attelées au berceau par des tirants en acier : la course est calculée de telle sorte que, dans le mouvement ascensionnel, les rails de la plate-forme du berceau viennent en prolongement exact des rails de la voie courante, et que, dans la descente, cette plate-forme soit immergée à la profondeur voulue pour obtenir la flottaison des navires sur le dock transporteur.

C'est d'ailleurs le système que l'on a pu voir à l'Exposition universelle de 1889, à la Section mexicaine; le modèle exposé était la reproduction de l'appareil proposé par le capitaine Eads, en Amérique, pour établir un chemin de fer à navires dans l'Isthme de Tehuantepec.

**Simplification pour
le halage en long.**

Dans le halage en long, il y a une simplification en ce que le berceau est supprimé; le navire vient directement se fixer sur le dock roulant transporteur; à cet effet les rails, de la voie courante se prolongent sous l'eau, par une pente de 1 ‰, entre deux murs de quai.

Le navire vient tout naturellement se placer dans l'axe du dock; celui-ci est alors tiré par des locomoteurs circulant sur une voie spéciale à ciel ouvert sur les murs du quai; l'étiayage se fait automatiquement en marche, et quand le dock avec son navire est sorti de l'eau, le locomoteur vient s'atteler en tête et entraîne la charge jusqu'au versant opposé, où l'opération inverse se produit, c'est-à-dire que le locomoteur est dételé, opère la traction en restant sur le mur de quai jusqu'à ce que le navire vienne à flotter; celui-ci n'a plus alors qu'à se mettre en marche et reprendre son voyage.

Le halage en long offre cet avantage qu'il supprime les berceaux et leurs voies inclinées, les machines et presses hydrauliques élévatoires nécessaires dans l'autre cas, et réduit la question à ces éléments simples, les docks transporteurs et les locomoteurs.

Dans le halage en long, comme dans le halage en travers, une question importante est que les navires viennent reposer sans secousse sur le dock, qu'ils ne puissent y faire aucun mouvement,

et qu'ils soient soutenus en toutes leurs parties, sans qu'en aucun point il puisse être engendré une pression anormale.

Ce résultat est obtenu de la manière suivante :

Le navire entre dans le dock comme dans une écluse et est amarré en quatre points, deux en avant et deux en arrière : de plus, deux tampons mobiles à l'avant et deux à l'arrière, mobiles autour d'un axe horizontal viennent s'appliquer contre les flancs et assurent la descente verticale et dans l'axe du dock.

Le mouvement étant donné, le navire commence à émerger et vient reposer sur une ligne de tains montés sur des ressorts.

Ceci assure le contact parfait de la quille, lors même qu'elle aurait pris de l'arc.

Il reste à supporter les fonds, ce qui est obtenu au moyen d'un système de sangles ou bandes en fil d'acier revêtues d'une garniture souple et élastiques qui épousent les formes du navire, quelles que soient d'ailleurs les dimensions; c'est une question de tendre plus ou moins les bandes, ce qui est opéré automatiquement par le moyen de presses hydrauliques.

Cette opération se fait d'ailleurs pendant la marche, au fur et à mesure que s'opère l'émersion, de telle sorte qu'il n'y a aucune perte de temps pour cette manœuvre.

La configuration du sol favorable pour le halage en long.

La disposition des terrains à Panama sur les deux versants se prête d'ailleurs à l'application de ce moyen, car les pentes sur les deux versants de la Culebra peuvent être facilement établies de manière à ne pas dépasser les limites usitées dans les chemins de fer ordinaires.

Devis du projet avec exécution partielle du Canal à niveau

Nous avons vu ci-dessus que le creusement du canal à niveau jusqu'au kilomètre 41, à Matachin, n'offrait aucune difficulté d'exécution, que les terrains composés de sables, argiles, graviers pouvaient être enlevés, sauf une faible partie, avec le matériel de dragues et d'excavateurs que possède la Compagnie, à un prix par conséquent bien inférieur à celui des terrains de la Culebra.

Nous sommes arrivés à un devis de 90,000,000 en nous basant sur les chiffres d'entreprise des travaux similaires exécutés, notam-

ment ceux des entreprises Baratoux, Letellier et C^{ie} et Slaven et C^{ie}.

Comme, d'autre part, les devis établis par la Société des Anciens Établissements Cail font ressortir le coût kilométrique à 6,000,000 de francs par kilomètre, d'où une dépense de 114,000,000 de francs pour le 19 kil. en question; comme, d'autre part, les frais de traction et de matériel se trouveraient réduits, nous pensons qu'il n'y a pas à hésiter à terminer le canal à niveau jusqu'au kilomètre 41.

Dès lors le projet peut se résumer ainsi :

Laissant de côté les projets à écluses qui ne peuvent offrir, quoi qu'on fasse, qu'une atténuation de la dépense insuffisante pour les justifier, la continuation du canal à niveau serait admise en principe.

Enfin le percement de la Culebra sur les 19 kilomètres et demi restants étant forcément une question de beaucoup de temps et d'une dépense excessive dans l'état actuel, il serait établi, à titre provisoire, un chemin de fer à navires qui permettrait d'effectuer le transit et d'attendre patiemment l'ouverture du Bosphore libre que les bénéfices du transit donneraient le moyen d'exécuter.

A l'égard du matériel, nous avons compté ce qui était nécessaire pour le trafic prévu; à raison de 15 kilomètres à l'heure et en tenant compte des manœuvres, le transit de chaque navire prendra deux heures, ce qui fait une capacité de douze navires par jour; c'est au-dessus des besoins, car le trafic de 4 millions de tonnes ne correspond qu'au passage de quatre navires de 2,500 tonnes par jour.

L'augmentation de matériel, aussitôt qu'elle serait justifiée, se fera en peu de temps, et il nous a paru suffisant de doubler le matériel strictement nécessaire en portant en dépense deux docks, deux locomoteurs avec leurs attelages.

Comme dans un chemin de fer ordinaire, la voie une fois établie, le desideratum est d'y développer le trafic, mais il n'est rationnel d'augmenter le matériel que quand le trafic l'exige, et ayant prévu ce qui sera suffisant pour longtemps, il sera facile, quand le moment sera venu, de mettre le matériel en rapport avec les besoins.

Sur ces données les devis ont été établis comme suit :

Terrains friables 1,000,000 m. cub. à 5 fr.	5.000.000 fr.
Roches 1,000,000 m. cub. à 20 fr. . . .	20.000.000
Béton pour l'assise de la voie 40,000 m. cub. à 100 fr.	4.000.000
Maçonneries pour murs de quai 50,000 m. cub. à 120 fr.	6.000.000
Travaux d'art quatre ponceaux métalliques de 2 à 10 m.	1.000.000
Maçonneries des travaux d'art 8,000 m. cub. à 120 fr.	960.000
Voie métallique sur 22 kilomètres (y compris les croisements) à 3,500 kilog. le kilomètre, 77,000 t. à 300 fr. . .	23.100.000
Boulons et accessoires 1,500 t. à 1,000 fr.	1.500.000
Deux docks roulants de 4,100 t. à 2 fr. le kil.	16.400.000
Deux locomoteurs de 1,500 t. à 2 fr. 60 le kil.	8.000.000
Deux trucks d'attelage	400.000
Signaux télégraphiques, téléphones. . .	500.000
Ateliers, outillage	1.000.000
Emballage et transport de 100,000 t. .	15.000.000
Frais de montage	15.000.000
TOTAL de la voie ferrée	<u>117.860.000 fr.</u>

Ajoutant à ce chiffre celui trouvé pour la partie en canal à niveau, on a :

Terrassements du canal à niveau du kilo- mètre 22 au kilomètre 41	90.000.000 fr.
Voie ferrée en ordre de fonctionnement .	117.860.000
TOTAL.	<u><u>207.860.000 fr.</u></u>

A ce total, il convient d'ajouter les sommes nécessaires pour les imprévus, le parachèvement en certains points des parties du

Canal exécutées, les frais de banque et frais divers, environ 20 % sur le capital nécessaire à l'entreprise proprement dite, soit une somme de 42,140,000 francs, ce qui conduit à un devis général de 250 millions.

Avec cette somme relativement minime, on arrive à ce double résultat, d'avancer le canal à niveau sur 19 kilomètres, et d'établir le transit en un court espace de temps.

En effet, en ce qui concerne les terrassements, il y a déjà à pied d'œuvre précisément le matériel qui convient pour les exécuter, les dragues et les excavateurs; ce matériel n'aura besoin que d'être complété et réparé en profitant de l'installation des ateliers à Matchin.

Aussitôt le capital nouveau formé, les travaux peuvent commencer de suite et à raison de 700,000 mètres cubes par mois, chiffre qui a été réalisé par les anciennes entreprises et est par suite réalisable, les terrassements peuvent être finis en vingt mois.

Ce temps sera largement suffisant pour les terrassements de la voie qui ne sont que de 2 millions de mètres cubes, et pour la partie métallique.

Done, d'une manière certaine, le transit peut être établi dans un temps très court, sans aléa, car il s'agit d'un travail connu par les contrats exécutés antérieurs et d'un travail d'usine en France pour lequel les dates peuvent être rigoureusement observées.

Nous pensons que l'ouverture du transit peut avoir lieu deux ans, trois ans au plus après le commencement des travaux.

Ces conditions sont bien différentes de celles qu'offrirait un canal à écluses pour lequel, ainsi que l'a prouvé l'expérience de l'ancienne Compagnie, les imprévus qui peuvent résulter du cube considérable des terrassements et des maçonneries peuvent élever le prix dans des proportions inconnues; pour ces derniers travaux surtout, on sait que le prix de la main-d'œuvre pour des ouvriers d'état atteint des proportions inusitées considérables, et que le recrutement en est difficile quand il s'agit d'un grand nombre d'ouvriers à attirer et à maintenir sur les chantiers.

L'établissement
d'une voie ferrée
d'un prix fixe
sans aléa.

Le chemin de fer à navires offre donc la certitude de pouvoir opérer le transit avec une somme relativement faible, de supprimer tout aléa, et enfin, c'est la continuation et l'achève-

ment du canal à niveau dans un temps donné, question que nous allons maintenant examiner.

Tout d'abord nous avons cru pouvoir distinguer le chemin de fer de la question d'achèvement du canal à niveau.

Il nous paraît impossible que l'établissement d'un Bosphore libre soit abandonné, quand il est facile, par un chemin de fer, de remplir pendant un temps illimité la condition essentielle de l'œuvre, le passage des navires à travers l'Isthme.

Il est évident que l'insuccès de la première Compagnie est dû en grande partie à l'échéance marquée par le décret de concession, obligeant à terminer le canal avant la fin de 1892 : dans un travail aussi gigantesque que l'était le canal à niveau, la nécessité d'arriver à date fixe a certainement occasionné une exagération énorme de la dépense, soit pour les comptes d'entreprise, soit pour les combinaisons financières et frais généraux.

En établissant le transit par voie ferrée, il devient possible de consacrer à la continuation du canal à niveau une partie des recettes qui seraient capitalisées, de telle sorte, qu'au bout d'une certaine période l'œuvre puisse être accomplie sous sa forme complète et définitive.

Ce temps sera évidemment assez long pour que le chemin de fer soit amorti et le matériel réalisé pour une autre entreprise similaire, car il est bien certain que nous entrons dans une période où ce mode de transit des navires pour unir des mers ou des fleuves recevra de nombreuses applications.

Applications actuelles des chemins de fer à navires.

Le chemin de fer à navires du Canada.

Le projet du Danube à la Mer Noire.

En ce moment même une voie ferrée de cette nature s'exécute au Canada : la citation suivante permet d'apprécier l'état des travaux de cet important travail.

« Le Chemin de fer pour Bateaux de Chignecto.

Nous avons décrit précédemment dans le *Génie Civil* le projet de chemins de fer pour bateaux que le capitaine Eads avait étudié pour franchir l'isthme de Tehuantepec : un travail analogue est en cours d'exécution dans l'isthme de Chignecto, qui sépare le golfe du Saint-Laurent de la baie de Fundy. Les navires qui doivent passer

de l'un à l'autre sont actuellement obligés de contourner la côte orientale de la Nouvelle-Écosse, les voiliers par les détroits de Caun, les steamers par le Cap Nord, ce qui augmente le trajet de 500 milles marins pour les premiers et de 700 pour les seconds. Le raccourcissement dû au chargement des navires sur voie ferrée sera de 10 à 14 jours pour les voiliers et d'un espace de temps correspondant à la distance épargnée par les steamers.

L'isthme a 27 kilomètres seulement de longueur : la voie ferrée réunit Amherst sur la baie de Fundy à Tidmish sur le golfe du Saint-Laurent. A Amherst, les navires entreront dans un petit bassin fermé par une porte de marée et communiquant avec un second dock où se trouvera le gril de relevage. Ce gril porte de chaque côté 10 presses hydrauliques de 0^m,625 de diamètre avec une course de 12 mètres. Les têtes des pistons sont reliées par des chaînes d'acier aux traverses du gril. Ce dernier a 70^m,50 de longueur sur 18 mètres de largeur, et porte une double voie à écartement normal, destinée à recevoir le bois sur lequel reposera le navire. Une usine hydraulique, des remises pour locomotives, et un chenal d'approche complètent l'énumération des travaux à exécuter de ce côté.

A Tidmish, où les variations du niveau de la mer sont insignifiantes, on n'a pas cru devoir employer de bassin d'approche. On s'est contenté de creuser un chenal et de le protéger par des estacades. Le dock de levage est identique à celui d'Amherst. La ligne qui réunit ces deux ports est droite et se compose d'une double voie en acier avec rails de 55 kilogr. au mètre courant. Elle présente quelques tranchées assez profondes dans le roc et des remblais importants sur d'autres points. Elle pourra porter des navires de 2,000 tonnes.

Les travaux ont été commencés à la fin de 1888, par M. Ketchum, auteur du projet, qui s'est assuré le concours comme Ingénieurs-conseils de sir John Fowler et de M. B. Baker, les constructeurs du pont du Forth. Actuellement, d'après l'*Engineer*, auquel nous empruntons les détails qui précèdent, il y a 19 kilomètres de voie complètement achevés, les terrassements des docks sont au niveau de fondations et on va commencer les maçonneries. On espère pouvoir ouvrir le trafic dans le courant de l'année. »

(Le Génie Civil.)

D'autre part, le *Contitutionalul* de Buckarest publie la nouvelle suivante :

« Le représentant d'une Société américaine se trouve en Roumanie et étudie un projet qui consiste à créer entre Cernavoda et Kustendje une voie ferrée qui transporterait les navires chargés à l'instar de celle que l'on construit au Canada. »

Comment le canal à niveau sera-t-il achevé, sera-ce par l'ancienne Compagnie ou par une nouvelle ? C'est là une question qu'il ne nous appartient pas de trancher, mais il est clair que la réalisation du transit, par un moyen qui laisse sûrement un grand excédent de recettes disponibles, est singulièrement facilitée par le passage de la Culebra au moyen d'une voie ferrée.

En résumé, achèvement immédiat du canal à niveau jusqu'au kilomètre 41, au prix d'une dépense de 120 millions et achèvement progressif jusqu'à jonction des deux mers, tel est le programme à remplir, au point de vue du canal et de ses nombreux intérêts.

Avantages du transit provisoire par voie ferrée pour la continuation économique du canal à niveau.

Pour l'achèvement du percement du canal à niveau, il est évident que n'ayant plus à compter avec le temps, ces travaux peuvent être entrepris avec une maturité dans la conception des plans et l'élaboration des contrats d'entreprise, qui permettront de réduire les prix élémentaires et le coût total dans une proportion énorme, si on le compare à ceux d'une œuvre qu'il faut accomplir à date fixe, et dans laquelle la préoccupation d'aller vite fait passer sur l'imperfection des études et les prix parfois exorbitants demandés par les entrepreneurs.

Ce serait évidemment le cas pour un canal à niveau ou à écluses qu'il faudrait terminer dans un court délai, et il y a là un redoutable aléa dont les travaux exécutés permettent d'apprécier l'importance.

Études et explorations devant précéder l'achèvement du canal à niveau par le percement de la Culebra.

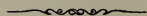
Nous indiquerons en terminant ce sujet, qui reste en dehors de la question du chemin de fer à navires, l'un des moyens que nous proposerions pour poursuivre en toute sécurité le canal à niveau : ce serait le percement d'un tunnel à faible section à travers la Culebra, entre le kilomètre 41 et 59,50, c'est-à-dire sur 16 kilomètres.

C'est un travail qui n'est ni long ni coûteux, si l'on réduit les dimensions à celles d'un tunnel de mines : percé presque entièrement dans le rocher, avec une section de 6 mètres carrés, ce tunnel n'exigerait que le déplacement d'un cube de 96,000 mètres cubes et une dépense qui n'excéderait pas 8 à 10 millions.

L'utilité de ce tunnel serait déjà grande, ne fût-ce que comme moyen d'exploration complète de la constitution géologique de l'Isthme, mais en outre il est évident qu'il permettrait d'effectuer des transports par cette voie et de s'en servir pour l'évacuation des déblais.

On pourrait même, en donnant une section un peu plus grande, y faire des transports par eau et réaliser sous cette forme restreinte la communication complète à niveau entre les deux Océans.

Nous ne faisons du reste qu'indiquer ce moyen, comme montrant la marche que l'on peut suivre pour achever le canal à niveau en s'assurant tout d'abord de la connaissance complète de la nature du travail à exécuter.



CHAPITRE IV

Évaluation du trafic. — Opinions diverses. — Capacité du transit du chemin de fer à navires. — Matériel de transport. — Frais d'exploitation. — Prix de revient de la traction.

Nous avons vu que le chemin de fer à navires offrait une énorme économie au point de vue de la dépense de construction ; il reste à examiner comment il répond aux conditions du trafic et quels sont les frais d'exploitation.

Le trafic qui s'effectuera dans l'Isthme a fait l'objet des appréciations les plus diverses.

Ainsi, au Congrès de 1879, l'amiral Ammen, d'après le bureau de statistique de Washington, n'estimait le trafic qu'à 971,455 tonnes, tandis qu'à la même époque, M. Szarvady l'évaluait à 3,443,000 et que M. Levasseur le portait à 6,000,000 de tonnes.

Il y a probablement exagération dans les deux sens, mais il est difficile d'admettre que le trafic reste inférieur à 4 millions de tonnes ; en effet, les relevés faits par l'amiral Davis, à une époque déjà éloignée, donnaient les chiffres suivants :

États-Unis.	1.857.485 tonnes
Angleterre	1.029.295 —
France	162.735 —
Autres pays	44.555 —
TOTAL.	3.094.070 tonnes.

Or, depuis cette époque, il y a eu un accroissement considérable de trafic, et peut-être l'évaluation de M. Levasseur ne serait-elle pas exagérée si une partie considérable du trafic n'était détournée par les voies ferrées aux États-Unis entre San-Francisco et New-York, et si,

d'autre part, il n'y avait dans le trafic prévu, une partie notable effectuée par voiliers dont un grand nombre ne prendra pas la voie de l'Isthme.

En effet, d'une part, les calmes du Pacifique éloignent les voiliers de ces parages, et, d'autre part, beaucoup de marchandises ne peuvent payer les droits de transit.

Vraisemblablement, on peut compter sur 4 millions de tonnes, avec un accroissement du trafic au fur et à mesure du remplacement des voiliers par la vapeur.

Ce qui arrive à Suez se reproduira à Panama et, dans vingt ou trente ans, il est probable que tout le trafic se fera par vapeurs comme à Suez.

Au point de vue du transport sur voies ferrées, il est important de préciser autant que possible les données d'après lesquelles s'effectuera le transit; or, il est certain que le Canal de Panama, comme Suez, ne donnera passage qu'à un nombre très limité de puissants steamers.

A Suez, le trafic, qui s'élève aujourd'hui à 6,800,000 tonnes, est effectué par environ 2,000 navires, avec une moyenne journalière de 6 à 7 navires.

Il suffit donc, pour Panama, de donner passage à 4 ou 5 navires par jour pour effectuer tout le trafic prévu.

Le matériel de la voie ferrée de Panama a été calculé pour pouvoir satisfaire, dès l'abord, à un trafic plus important.

La durée du passage pour un navire se calcule ainsi :

Entrée du navire dans le dock »	5 min.
Halage sur la voie sous-marine »	10 —
Changement de voie et attelage du locomoteur. »	5 —
Transport sur la voie courante. 1 h. »	—
Manœuvres au versant opposé. »	20 —
TOTAL.	1 h. 40 min.

Soit 2 heures en comptant 20 minutes d'imprévus.

Un seul dock pourrait ainsi transporter 6 navires par jour, en admettant qu'il y aura toujours un navire prêt à chaque extrémité.

Avec le service de nuit, la capacité serait de 12 navires par jour.

Comme le trafic prévu de 4 millions de tonnes correspond à 11,000 tonnes par jour en 4 navires de 2,750 tonneaux en moyenne, un seul dock en service suffira largement.

Les devis en comportent deux, afin d'assurer le service en cas de réparation.

D'ailleurs, une voie de garage est prévue au milieu de la distance, afin de pouvoir mettre en service les deux docks en cas d'affluence extraordinaire.

Les comptes d'exploitation ci-après sont donc basés dès l'abord sur un matériel d'une puissance excédant les besoins, et les frais sont établis comme suit :

Entretien de la voie à 10,000 francs par kilomètre.	Fr.	200.000
Entretien, amortissement sur 24,800,000 francs à 8 %.		1.984.000
Charbon pour 10 heures de chauffe par jour à 5 tonnes par heure, 50 tonnes à 50 francs, soit par an 2,500×365		872.500
Graissage.		220.000
Equipages des Docks, 20 hommes à 20 francs en moyenne		146.000
Personnel des mécaniciens et chauffeurs, 20 hommes à 20 francs en moyenne.		146.000
Frais généraux et Direction.		150.000
TOTAL des frais annuels. . . .		3.718.500

Frais de transit par tonne 0 fr. 93.

Les frais de la traction reviennent ainsi à $\frac{0,93}{20} = 0,045$ par tonne kilométrique.

Ce prix est très élevé, si on le compare au prix de traction sur voie ferrée dans les conditions ordinaires et qui revient à 0 fr. 02 par tonne et par kilomètre, mais il faut observer que, par suite de la faiblesse du trafic, relativement à la puissance des appareils de transport, le matériel est mal utilisé, et que la dépense resterait à peu près la même, si au lieu de 4 millions de tonnes à transporter par an, le trafic s'élevait à 6 ou 8 millions.

Il est certain que les frais d'exploitation réels resteront au-dessous de ce qui a été calculé et pourront être notablement abaissés quand l'expérience aura été assez prolongée sur cette question du transport des grands navires sur voie ferrée.

Pour établir les comptes d'exploitation qui précèdent, les dépenses sont rapportées au tonnage utile, payant un droit de 15 francs par tonneau, et non à la charge brute qui comprend les docks et coques des navires.



CHAPITRE V

*Considérations économiques. — Déficit et aléas du système des écluses. —
Bénéfices par le Chemin de fer à navires. — Répartition entre le Capital
nouveau et les anciens porteurs.*

Au point où en est la question de Panama, on trouve l'entreprise chargée d'un capital dépensé de 1 milliard 400 millions dont 300 millions d'actions et 1,100 millions d'obligations diverses.

C'est là un fait qui doit être pris en grande considération, quand il s'agit d'engager de nouvelles dépenses.

C'est précisément l'intérêt des nombreux souscripteurs qui ont fourni ce capital qui est en jeu, et qui doit faire rechercher les moyens de terminer l'entreprise, afin que ce capital ne soit pas englouti et puisse retrouver sa légitime rémunération.

Il faut donc que l'entreprise de Panama s'achève, mais dans des conditions telles que les revenus sur lesquels on peut sûrement compter puissent, après prélèvement de la part afférente au capital nouveau qu'il faudra appeler, assurer au capital ancien une rémunération.

Or, en résumant les opinions diverses, nous avons vu qu'il ne serait pas possible, pendant de longues années, de compter sur un trafic de plus de 4 millions de tonnes, donnant un revenu annuel de 60 millions.

Dès lors, il est évident que le capital qu'il est possible d'appliquer à l'achèvement de l'entreprise se trouve circonscrit dans des limites très étroites, et que la question est de la terminer avec le minimum possible de temps et d'argent.

Dans les chapitres qui précèdent, nous avons vu que, d'après les prix d'entreprises réalisés, il faudrait un milliard au moins pour un Canal à écluses, quel que soit le système, et que, d'autre part, on

pouvait continuer partiellement le Canal à niveau et établir le transit par voie ferrée avec une dépense n'excédant pas 250 millions, même en y comprenant une certaine somme pour frais généraux et imprévus.

Examinons les résultats financiers dans les deux hypothèses :

1° Avec un Canal à écluses, il faudra réaliser un milliard effectif pour les travaux ; dans la situation actuelle de l'entreprise, la réalisation de ce capital sera difficile, et pourrait entraîner à des émissions successives d'obligations, pour lesquelles se reproduiraient les mêmes faits que pour le Canal à niveau, c'est-à-dire un taux de plus en plus élevé ; or, il suffirait que le taux d'intérêt sur le capital réalisé fût de 8 % pour constituer un déficit de 20 millions par an, et par suite l'impossibilité de rémunérer le capital nouveau, bien loin de donner une satisfaction quelconque au capital ancien.

Un Canal à écluses nous semble donc aussi irréalisable que le canal à niveau, auquel il n'apporte qu'une atténuation insignifiante sur la dépense, et en comportant les mêmes aléas et les mêmes difficultés.

La question semblerait donc insoluble si la science ne pouvait suggérer des moyens pratiques pouvant modifier entièrement le côté économique du problème.

Ce moyen, c'est le transport sur voie ferrée qui résout, au contraire, la question économique de la manière la plus satisfaisante pour tous les intéressés, ainsi qu'on le jugera par les chiffres ci-après.

Nous avons vu que l'on pouvait poursuivre le Canal à niveau jusqu'au kilomètre 41 et franchir la Culebra par une voie ferrée, qui n'est autre chose qu'un double plan incliné, avec une dépense qui n'excéderait pas 250 millions.

Déjà sur ces 250 millions, il a été ajouté aux prix d'entreprise, d'une part, 20 millions comme frais généraux de la partie à terminer à niveau ; d'autre part, 22,140,000 francs ajoutés au prix d'entreprise de chemin de fer, soit en totalité une prévision de 42 millions environ, pour tenir compte des imprévus et frais généraux.

Pour calculer largement, nous allons admettre que pour tenir compte des frais de banque, d'intérêts pendant la construction, il reste à la charge de l'entreprise un intérêt annuel de 8 % à payer, sur le capital de 250 millions.

L'intérêt annuel sera $250,000,000 \times 0,08 = 20,000,000$ de francs et le trafic étant de 60 millions, il restera 40 millions disponibles.

Cette somme serait évidemment à distribuer suivant des conventions à établir entre la nouvelle Société d'achèvement et l'ancienne Société, et il ne nous appartient pas d'en préciser les termes.

Tout au plus pouvons-nous représenter d'une manière figurative quelle pourrait être la distribution des revenus.

Portons en recettes 60,000,000 de francs correspondant à ce trafic de 4,000,000 de tonnes.

La répartition s'opérerait ainsi d'une manière approximative :

Intérêt à 8 % sur le capital nouveau de 250 millions.	Fr.	20.000.000
Frais d'exploitation et d'administration. . . .		6.000.000
TOTAL.	Fr.	<u>26.000.000</u>

Ce total représente la part des revenus nécessaire pour rémunérer le capital nouveau et couvrir les frais d'exploitation de la voie ferrée.

Par suite, il reste un solde disponible de 34,000,000 de francs, formant la base des combinaisons financières à intervenir pour la part bénéficiaire du capital nouveau, les obligations envers le Gouvernement des États-Unis de Colombie, la reconstitution du capital ancien et l'intérêt de ce capital. Ici nous nous arrêtons, cette question restant en dehors de notre but, qui a été l'exposé d'un projet spécial et des conséquences économiques qui résulteraient de son exécution.

Tels sont les résultats que l'on peut obtenir sûrement par le chemin de fer à navires : ils sont dus au progrès de la science et des constructions métalliques ; l'art de l'Ingénieur permet à notre époque d'aborder un tel problème ; bien plus, elle se réalise déjà en dehors de Panama et, dans le courant de cette année, les navires franchiront l'Isthme qui sépare le Saint-Laurent de la baie de Fundy par une voie ferrée presque identique à celle de Panama.

Au lieu de supprimer l'obstacle à grand renfort de capitaux et de vies humaines, on le franchit par un moyen qui sera l'une des créations les plus grandioses de notre époque et l'une des conquêtes les plus fécondes du génie moderne.

NOTE I

Mémoire technique par la Société des anciens Établissements Cail.

(Modification pour la variante par le plateau du Lirio)

I. — Tracé général Établissement de la voie.

Sur la distance qui sépare Pena Blanca de Matachin, le canal serait continué à niveau, en raison du peu d'élévation des terrains et de leur nature qui permet d'effectuer le creusement à la drague et à l'excavateur.

C'est donc seulement entre Matachin, près du kilomètre 41, et Pedro Miguel, au kilomètre 60,50, soit sur une distance de 19 kilomètre 1/2 qu'il s'agit d'établir la voie ferrée.

Afin de faciliter pour l'avenir la continuation du canal à niveau, la voie ferrée ne suit pas le tracé du canal : à partir de Matachin, la voie ferrée passe à droite en se dirigeant vers Panama, en passant par la vallée du Lirio, où se trouve un passage facile pour un chemin de fer, avec l'avantage d'offrir des cotes moins élevées qu'à la Culebra et un terrain plus solide.

Voici du reste la description sommaire du tracé, basé sur le plan et le profil qui accompagnent ce mémoire.

Le canal, un peu avant Matachin, au kilomètre 41, est creusé suivant une pente de 0^m,01 par mètre jusqu'au point où le dock vient émerger : cette partie forme un plan incliné sous-marin, sur lequel sont posés les rails comme dans la voie courante. A partir de ce point où est établi un palier, le chemin de fer passe à droite du canal à niveau et, après avoir franchi le plateau du Lirio, vient reprendre l'axe du canal près de Paraiso jusqu'à Pedro Miguel, où une autre rampe sous-marine est établie.

Les courbes et alignements se décomposent comme suit :

5 alignements de 11 kil. 950.

5 courbes de. . . 7 . . . 550.

Les paliers pentes et rampes se décomposent ainsi :

2 paliers.	4 kil. 275
1 rampe de 0 ^m ,01.	4 . . . 700
1 rampe de 0 ^m ,008.	2 . . . 350
1 rampe de 0 ^m ,005.	2 . . . 400
1 rampe de 0 ^m ,012.	5 . . . 775
	19 kil. 500

Sur le tracé adopté, les travaux d'art ont très peu d'importance; ils ont peu de portée et le peu de profondeur des vallées traversées fait qu'aucun des ouvrages n'atteint des dimensions exceptionnelles, malgré les lourdes charges qu'ils sont appelés à supporter.

Afin d'établir une circulation simultanée dans les deux sens, nous avons projeté au milieu du parcours, sur l'alignement de Lirio, une voie de garage permettant aux navires et, au besoin, à plusieurs trains de se croiser sans arrêts ni manœuvres aux changements de voie.

Des doubles voies sont également prévues aux têtes de ligne pour dégager la voie principale et remiser les machines.

La vitesse de marche que nous avons admise pour nos trains est de 15 kilomètres à l'heure. La durée du trajet sur voie ferrée sera donc de 1 heure 1/4.

Nous admettons donc que la traversée se fera en deux heures, y compris le temps nécessaire aux manœuvres.

La puissance maritime du système ainsi établi peut donc être évaluée à 12 navires par 24 heures, soit, à raison de 2,000 tonnes utiles par navire, 24,000 tonnes journalières et 8,500,000 tonnes par an, chiffre supérieur à celui prévu par le Congrès.

Les cubes des déblais à extraire ont été calculés d'après les plans, profils en long et en travers joints au dossier.

Chacun de ces travaux a été étudié en vue du transport de navires de 10,000 tonnes, d'une longueur maximum de 160 mètres et d'une largeur de 16 mètres, et pour chacun d'eux il a été dressé un avant-projet, un métré et un devis dont le sommaire est relaté plus loin.

Établissement de la voie. — La plus forte charge que la voie ait à supporter est due au passage du dock et répartie sur 240 roues, à raison de 60 tonnes par roue.

Si nous comparons cette charge à celle qu'on a fait supporter jusqu'à ce jour aux voies ferrées, nous voyons qu'elles sont entre elles dans le rapport de 6 à 75 tonnes, c'est-à-dire qu'elle est, dans notre cas, huit fois plus forte.

Nous avons donc été conduits à composer un profil de rail tel que, sous l'influence de cette charge, il ne puisse se développer dans le métal ni se produire sur le sol des efforts supérieurs à ceux que l'on admet couramment dans les chemins de fer.

Les 240 roues étant disposées sur six files longitudinales, notre voie sera composée de six rails solidement reliés entre eux de deux en deux mètres par des traverses métalliques, assemblées au moyen de cornières et de goussets, et formera un véritable châssis métallique, très rigide, reposant en tous points sur le sol dans les parties rocheuses ou sur un lit de béton aggloméré dans les terres fluentes.

L'établissement de ce châssis métallique constituant une des plus fortes dépenses de l'entreprise, nous en donnerons ici les dimensions principales.

Chaque rail est formé de trois parties : une surface de roulement et deux longrines en forme d'I.

Ces trois parties sont reliées entre elles par des boulons ou des agrafes, et la semelle de roulement, qui seule souffre de l'usure, peut se remplacer facilement.

La pression exercée maximum sur le rail étant de 60 tonnes, nous supposons que cette pression se répartit sur la surface correspondante à un arc de 1° sur la roue, en ne donnant pas de pression supérieure à 20 kilogrammes par millimètre carré, conditions ordinairement admises pour les rails d'acier.

Le diamètre des roues étant de 1^m,800, l'arc de contact sera de :

$$\frac{1.800 \times 3,14}{360} = 15 \text{ millim. } 7$$

et la largeur de la surface de roulement :

$$\frac{60.000}{15,7 \times 20} = 191 \text{ millim.}$$

Nous avons pris 0^m,200, et si l'on compare cette largeur de contact à celle des voies ordinaires, qui est en moyenne de 0^m,25, on voit qu'elles sont entre elles dans le même rapport que les charges respectives qu'elles supportent.

$$\frac{200}{25} = \frac{60^r}{7,75} = \frac{8}{1},$$

Les longrines en I et les traverses répartissent la charge sur les massifs de béton et portent à cet effet de larges patins dont la surface correspondante à chaque roué est de

$$0,40 \times 2^m,00 + 0,20 \times 2^m,40 = 12.800 \text{ centim. carrés,}$$

ce qui donne par centimètre carré de surface de béton une pression de :

$$\frac{60.000^k}{12.800} = 4^k,7$$

La surface de terrain correspondante a pour valeur :

$$0,9 \times 2^m,00 + 0,6 \times 2^m,40 = 32.400 \text{ centim. carrés}$$

et la pression par centimètre carré sur le sol, en tenant compte du poids de la voie et du béton :

$$\frac{60.000^k + 2.400^k}{32.400} = 1^k,900$$

Ces pressions ne sont donc pas supérieures à celles que transmettent les traverses de chemins de fer à des terres meubles comme celles de remblais; aussi serons-nous dans d'aussi bonnes conditions

en descendant dans ces derniers nos lits de béton jusqu'au terrain solide.

Pour empêcher tout déplacement latéral du dock dans les alignements et pour le guider dans les courbes, celui-ci est muni de galets directeurs ayant comme guides les rails extérieurs, dont la forme diffère pour cette raison de celle des autres rails.

Ces galets directeurs sont montés sur des pistons hydrauliques permettant de les soulever, de façon que la traversée des voies aux aiguillages puisse se faire sans interrompre les rails.

Le poids de la voie ainsi formée est de 3.300 kilos le mètre courant et celui de chaque rail est de 415 kilos, soit environ neuf fois celui des plus forts rails employés.

La rigidité longitudinale du rail est telle qu'au passage des ouvrages, les poutrelles qui le supportent sont écartées de 1^m,250 et le travail du métal ne dépasse pas 10 kilos par millimètre carré.

III. — Dock roulant

Conditions générales. — Les conditions principales d'établissement du dock roulant sont les suivantes :

Poids du navire	10.000 tonnes.
Poids du dock.	4.075 —
Charge roulante	<u>14.075 tonnes.</u>
Longueur des plus grands navires.	160 mètres.
Largeur.	16 —
Porte à faux admis à chaque extrémité	25 —
Charge maximum par roue.	60.000 kilos.
Rayon uniforme des courbes de la voie	3.000 mètres.
Déclivités maximum	1,2 %.

Pour faire rouler un poids aussi considérable sur la voie ferrée, sans trop s'écarter des règles générales observées dans la construction du matériel roulant des chemins de fer, il fallait :

1° Supporter la carène du navire de manière à ne produire aucune déformation, tout en ayant un agencement assez élastique pour épouser des formes différentes ;

2° Répartir également sur un grand nombre de roues le poids total, de façon à ce que les accidents du profil et les chocs qui peuvent se produire en marche ne puissent altérer cette répartition ;

3° Ne pas dépasser pour la charge de chaque essieu le chiffre moyen qui convient également à la construction de la voie et au frottement des fusées dans les boîtes à graisse.

La description qui va suivre et les dessins qui l'accompagnent permettent de voir comment ces différentes conditions ont été réalisées.

La charpente du dock, entièrement en acier, se compose essentiellement de deux poutres maîtresses d'une longueur totale de 110 mètres, reliées entre elles par des poutres pleines supportant la plus grande partie du poids du navire par l'intermédiaire de tains métalliques montés sur des ressorts, se prêtant aux déformations de la quille.

Ces maîtresses poutres sont traversées de distance en distance par des poutrelles très rigides auxquelles elles transmettent leur charge et qui la répartissent elles-mêmes, par l'intermédiaire de longerons et de ressorts puissants et d'une grande flexibilité, à six roues placées sur un même axe perpendiculaire à la voie.

Ces poutrelles se prolongent verticalement en forme de membrure, de manière à envelopper la forme des plus grands navires, et supportent un système de câbles garnis de tampons en étoupe destinés à soutenir les fonds et les flancs de la carène.

L'une des extrémités de ces câbles est fixée sur le milieu du dock, tandis que l'autre est attachée à la tête d'un piston de presse hydraulique qui lui transmet une tension suffisante pour maintenir le navire en équilibre sur sa quille, sans produire de pressions supérieures à celles qu'il supporte en flottaison normale.

Un certain nombre de bittes d'amarrage disposées aux extrémités du dock servent à fixer invariablement la navire dans le plan horizontal.

En outre, pour assurer la position verticale du navire au moment où il prend contact, il est maintenu au moyen de quatre bras arti-

culés, terminés par des tampons et qui viennent s'appliquer sur les flancs, de manière à empêcher le devers.

Indépendamment de la liaison produite par les longerons et les poutres, ces membrures sont reliées entre elles par un bordé en tôle dans les parties courbes et par une poutrelle à leur partie supérieure, le tout solidement contreventé dans les deux places.

La charpente ainsi constituée peut être comparée à la coque d'un navire, car elle forme comme celle-ci une véritable poutre creuse ayant ses hauts et ses fonds auxquels les réactions des appuis transmettent des efforts de tension et de compression assimilables à ceux qui se développent dans les semelles d'une poutre ordinaire.

Dans le cas qui nous occupe, le grand écartement des dessus et des dessous donne à l'ensemble de la charpente une rigidité telle que, malgré le porte-à-faux des extrémités, la flèche produite par les plus fortes charges n'est que de quelques centimètres.

C'est pour satisfaire à la deuxième des conditions citées plus haut que nous avons été conduit à donner à l'ensemble de notre ossature la plus grande rigidité possible dans les deux sens, en même temps qu'une grande élasticité aux supports.

La répartition uniforme de la charge sur un aussi grand nombre de points nous eût, en effet, entraîné par les procédés employés ordinairement à une complication de balanciers longitudinaux et transversaux donnant un poids mort considérable.

La voie pouvant supporter 60 tonnes par roue, il nous a fallu répartir la charge sur 240 roues disposées sur 40 files de 6 perpendiculaires à la voie.

Chacune de ces roues a son essieu indépendant; leur largeur est variable suivant la position qu'elles occupent sur la longueur, afin qu'au passage des courbes aucune d'elles n'échappe le rail.

Le dock étant inflexible dans le sens horizontal, les roues ne s'inscrivent pas dans les courbes suivant l'arc, mais bien suivant une corde moyenne qui détermine la largeur de chaque roue par l'écartement donné par un rayon de 3,000 mètres pour la saillie en dehors de cette corde.

Des galets directeurs, dont il est parlé plus haut, servent à guider le dock et permettent de supprimer les boudins sur les roues,

sauf sur les points qui, n'ayant aucun déplacement latéral, servent de guides dans les alignements.

Aux deux extrémités du dock, deux fortes poutres horizontales reliées aux maîtresses, supportent les manchons et la cheville d'attelage, transmettant ainsi aux poutres principales du châssis l'effort de traction de la machine locomotrice.

Vers le milieu du dock sont ménagés, entre les bordés intérieur et extérieur, des compartiments étanches formant chambre des machines.

Elles renferment le moteur et les pompes de compression qui alimentent les presses de tension des câbles et les cylindres des galets directeurs.

Comme ces chambres se trouvent complètement immergées pendant la manœuvre de chargement du navire, on a dû en ménager l'accès par un tube étanche renfermant un escalier conduisant à la partie supérieure des membrures.

Telles sont les dispositions générales du berceau du navire. Malgré le poids considérable qu'elles ont à supporter, les différentes parties de cet appareil ont été composées avec les matières employées couramment dans les travaux de constructions métalliques.

IV. — Locomoteur.

Considérations générales. — Vu le poids considérable que nous avons à transporter, il était impossible pour l'étude du locomoteur capable de remorquer le dock chargé, de nous baser sur aucun des types de locomotives actuellement existants.

Songer à réunir plusieurs locomotives, pour remorquer une charge plus ou moins considérable, serait une solution absolument mauvaise au point de vue du rendement.

En effet, deux locomotives, par exemple, sont attelées à un même train, l'effort de traction moyen qu'elles développent est inférieur au double de celui que fournirait l'une d'elles attelée séparément. Il se passe un fait analogue à celui de plusieurs chevaux tirant une même charge.

Et ce ne serait pas deux locomotives, mais bien dix du type le plus puissant qu'il nous faudrait pour remorquer le dock chargé.

Dans ces conditions, nous avons cherché et calculé un

appareil spécial de poids et de force suffisants pour réaliser notre but.

Description.

La voie comportant six rails, la machine porte naturellement six roues de front sur six dans le sens longitudinal espacées les unes des autres de 2^m,50.

Nous avons donc 36 roues supportant un poids total de 1,800 tonnes, la machine en charge, le poids réparti sur chaque face est de $\frac{1,800}{36} = 50$ tonnes; les dimensions des fusées étant de 0^m,300 de diamètre sur 0^m,350 de longueur, la pression par centimètre carré de projection de surface frottante est :

$$\frac{50.000}{35 \times 30} = 48 \text{ kilog.}$$

Cette pression est acceptable, vu la faible vitesse dont la machine est animée (15 kilomètres à l'heure). La vitesse circonférentielle des fusées est de 0^m,70 à la seconde.

Le métal de l'essieu travaille au plus à :

$$\frac{50.000 \times 350 \times 10}{27.000.000} = 6^k,5$$

Six longueurs forment la charpente principale du châssis et viennent reposer sur les boîtes à graisse par l'intermédiaire de rondelles Belleville permettant au châssis de s'élever et de s'abaisser verticalement sous le jeu de leur élasticité.

Les longerons sont entretoisés entre eux par des poutres transversales, le tout est contreventé dans la partie supérieure.

Les deux rangées extrêmes des roues sont armées de boudins pour guider la machine, les autres rangées portent des roues plates facilitant le passage dans les courbes; le déplacement en courbe des deux rangées du milieu n'est que de 0^m,020.

Les caisses à eau sont placées sous les chaudières et entre les longerons, elles communiquent toutes entre elles.

Les caisses à charbon sont placées sur le tablier entre les deux rangées de chaudières, tout le combustible nécessaire est donc à la portée des chauffeurs.

Une passerelle permet au Mécanicien chef de surveiller tout son personnel et d'avoir à sa portée tous les leviers de commande pour la mise en marche, l'arrêt, etc.

Une tente à double toiture abrite le personnel contre les ardeurs du soleil et les intempéries de l'atmosphère.

A chaque extrémité du châssis, deux poutres d'attelage intéressant les 6 longerons dans la traction, forment chape pour recevoir le tenon du truck d'attelage. Cette chape a une hauteur suffisante pour permettre au châssis de se mouvoir verticalement, le tenon est fixé dans la chape par une cheville de 300 ^m/_m de diamètre; pour la facilité de la manoeuvre, cette cheville est mue par une presse hydraulique.

Etablissement du
Locomoteur.

Données :

Poids du dock chargé.	14.000 tonnes
Rampe maximum	0 ^m ,012
Diamètre des roues.	1 ^m ,80
Adhérence	1/7
Résistance en palier	4 kilog. par tonne
— courbe 2 — —	— courbes de 3,000 ^m .
— rampe 10 — —	—

L'effort de traction en marche est :

$$14.000 \times (4 + 2 + 10) = 224.000 \text{ kilog.}$$

Le poids de la machine à vide est :

$$224.000 \times 7 = 1.568.000 \text{ kilog,}$$

Moteur
et Générateur.

Dans les calculs ci-dessus, nous avons pris, pour la résistance en palier et en rampe, les coefficients adoptés pour les chemins de fer, nous avons seulement quadruplé celui des courbes.

Deux considérations principales nous ont guidé dans la solution que nous avons adoptée pour le générateur et le mécanisme :

- 1° Répartition égale du poids sur tous les essieux;
- 2° Commander directement les essieux moteurs.

La répartition du poids sur un châssis de 240 mètres de surface (24 mètres sur 20) n'aurait pu se faire avec un générateur et une machine uniques. De plus, une machine unique à deux cylindres ne pouvait commander directement deux essieux moteurs, car les manivelles motrices d'un tel moteur auraient des dimensions qui ne permettraient pas à la tête de bielle motrice de faire sa rotation sans venir toucher le sol de la voie.

Nous nous sommes donc arrêtés à la disposition suivante : sur le châssis, nous disposons symétriquement une série de 18 chaudières, type locomotive, fournissant la vapeur à 24 cylindres juxtaposés deux à deux et commandant directement 12 essieux moteurs; toutes ces chaudières sont reliées entre elles par une tuyauterie qui permet d'avoir une pression égale partout.

Chaque file de six essieux est indépendante l'une de l'autre et toutes les roues dans chaque file sont accouplées, de sorte que l'adhérence totale de la machine est employée à la traction.

Ceci posé, nous calculons ci-après le diamètre des cylindres moteurs et les générateurs.

Données :

Force de traction.	224,000 kilos.
Diamètre des roues.	1 ^m ,800
Nombre de chaudières. . . .	18
Nombre de cylindres.	24
<i>d.</i> = Diamètre des cylindres.	
<i>l.</i> = Course des pistons.	
Pression dans les chaudières.	12 kilos.

La formule fixant le diamètre des cylindres dans les locomotives nous donne :

$$d^3 l = \frac{2 \times 224.000 \times 180}{24 \times 0.65 \times 12} = 430.000$$

Si nous prenons comme rapport entre le diamètre du cylindre et la course du piston 1^m,20, nous aurons :

$$d^3 = \frac{430.000}{1.20} = 357.500$$

d'où $d = 710^{\text{m}}/_{\text{m}}$, et pour parer à toutes les éventualités qui pour-

raient augmenter la résistance, nous prendrons comme diamètre 820 ^m/_m.

$l = 820 \times 1.20 = 1$ mètre en chiffre rond,
longueur de la manivelle motrice = 0^m,500.

Cherchons maintenant si la dimension des cylindres est suffisante pour le démarrage en palier.

Nous remarquerons d'abord que les manivelles motrices par files d'essieux étant calées à 120° d'un essieu à l'autre, 15 cylindres sur 24 travaillent au démarrage.

A cause de l'attelage élastique intermédiaire, nous prendrons 17,5 kil. comme résistance par tonne au démarrage pour le dock, et 30 kil. pour la machine.

Nous devons avoir :

$$\frac{14.000 \times 17.5 + 1.800 \times 30}{180} < \frac{7.26 \times 5.281 \times 15 \times 100}{180}$$

$$299.000 < 319.000$$

Le nombre des cylindres étant de 24 et la détente moyenne de 3/25, le poids total de vapeur dépensée est en totalité pour une heure :

$$\frac{6.360 \times 2 \times 24 \times \pi \times 0^3,820 \times 5^3,2}{100} = 33.528 \text{ kilog.}$$

Si nous comptons 20 % pour les pertes, pertes dues à l'alimentation, la purge des cylindres, le tirage forcé, s'il est nécessaire, etc., nous aurons une dépense totale de 40,244 kilogs de vapeur.

La dépense de vapeur par heure et par chaudière est :

$$\frac{40.244}{18} = 2.235 \text{ kilog.}$$

Prenons 15 kilogs comme production de vapeur par heure et par mètre carré de surface de chauffe, chaque chaudière aura une surface de chauffe de :

$$\frac{2.235}{15} = 15 \text{ mètres carrés.}$$

Nous ferons remarquer qu'avec la production de 15 kilogs que nous prenons, il sera inutile d'employer le tirage forcé, l'échappement naturel seul suffira à la production que nous comptons.

Surface de grille et approvisionnement de charbon :

Un kilo de houille vaporisant 8 kilos d'eau par heure, il nous faudra comme approvisionnement pour un voyage :

$$\frac{40.244}{8} = 5.030 \text{ kilog. de houille.}$$

Le poids de houille brûlé par décimètre carré de surface de grille, cette surface étant environ le $\frac{1}{75}$ de la totalité de la surface de chauffe est :

$$\frac{12.577 \times 75}{15.000 \times 18} = 3^{\text{e}},5$$

Frein.

Nous établirons sur la machine un nombre de freins suffisant pour arrêter le train chargé en alignement et en pente dans l'espace de 200 mètres.

Pour l'arrêt d'un véhicule quelconque en pente, les travaux à vaincre sont les suivants :

1° Le travail dû à la force vive du véhicule ;

2° Le travail dû à la pesanteur.

Comme travaux agissant pour l'arrêt on a :

1° Le travail dû au frottement des fusées ;

2° Le travail dû à la résistance au roulement ;

3° Le travail dû à l'action des freins,

ce qui nous donne un effort moyen de :

$$\frac{19.321.200}{200} = 96.606 \text{ kilog.}$$

La pression normale que les sabots devront exercer est :

$$\frac{96.606}{0,18} = 534.000^{\text{k}}$$

Si nous choisissons comme frein le frein à vide, qui est de beaucoup le plus simple, si nous admettons une multiplication de 10 de l'effort transmis des cylindres par les bras de levier, et si nous prenons les cylindres de fabrication courante ($0^{\text{m}},54$ de diamètre), il

nous faudra, pour arrêter le train en pente, la pression due au vide étant de 0^k,685 par centimètre carré, un nombre de cylindres de :

$$\frac{534.000 \times 4}{17 \times \pi \times 52^2 \times 0.685} = 34 \text{ cylindres}$$

nous en placerons 36, soit 1 par roue.

Truck d'attelage.

Le truck d'attelage que nous présentons se compose de deux parties distinctes (*Voir plan*) formées chacune d'un châssis supporté par quatre roues planes. Ces deux châssis se composent principalement chacun d'une traverse portant le tenon d'attelage, reliée à deux poutres longitudinales suffisamment fortes pour supporter l'effort de traction ; ces trois pièces principales sont reliées et entretoisées entre elles. Sur l'un des châssis est fixée une série de 11 cylindres contenant chacun 100 rondelles Belleville du type le plus fort, ces rondelles sont en outre empilées sur des tiges qui les compriment dans des cylindres sous l'effort de traction de la machine. Ces tiges mobiles dans les cylindres sont taraudées à des pistons fixés sur l'autre châssis, lesquels coulisent dans la partie avant des cylindres à rondelles ; ces pistons travaillent à la traction et à la compression : eux seuls agissent dans le cas de recul et viennent comprimer les rondelles en sens inverse, tandis que les tiges ne travaillent qu'à la traction.

On voit que, par suite de cette disposition, l'élasticité due aux rondelles est employée aussi bien dans la marche en avant que dans la marche en arrière.

Cette qualité nous donne un grand avantage pour le démarrage, la machine n'étant pas obligée d'enlever toute sa charge d'un seul effort. La flèche d'élasticité de l'attelage étant d'un mètre, la machine en parcourant cet espace exerce progressivement son effort de traction, le train ne se met définitivement en marche que quand il y a équilibre entre la tension des ressorts et la traction nécessaire à la mise en marche.

En outre, un attelage intermédiaire, comme celui que nous présentons, de 25 mètres de longueur, permet à la machine de s'échapper du dessous du bateau qui dépasse le dock de 25 mètres environ à l'avant et à l'arrière, quand il s'agit d'un navire de la dimension la plus grande connue.

NOTE II

Sur l'achèvement ultérieur du Canal à niveau et l'utilisation du Chagres comme force motrice pour l'exécution des travaux.

Ainsi que nous l'avons vu, l'achèvement du Canal à niveau se ferait en deux périodes, l'une comprenant l'exécution immédiate entre les kilomètres 22 et 41.

Cette partie serait exécutée à l'aide du matériel existant : le plan général des travaux serait, comme le Canal croise en plusieurs points le Chagres, de draguer chaque lacet de l'aval à l'amont en laissant des seuils en amont qui seraient détruits au moment des basses eaux pour établir la circulation.

Le travail est simple et tout préparé.

Pendant que le travail serait accompli, la voie ferrée serait établie de manière à pouvoir ouvrir la voie de transit dans un délai de deux ans, trois ans au plus, à partir de la mise en œuvre.

Les choses en cet état, et le trafic assuré, il serait apprécié facilement après quelques années d'exploitation, de quelles ressources pourrait disposer la Compagnie pour achever le Canal par le percement du massif montagneux.

Lorsque ce travail serait décidé et les moyens d'exécution assurés, on commencerait par établir le tunnel de recherches mentionné au chapitre III.

D'après cette connaissance parfaite du terrain, on pourrait comparer les prix d'un tunnel maritime ou d'un Canal à ciel ouvert, ces deux projets ayant été proposés et ayant chacun leurs avantages.

Dans tous les cas, il s'agira non plus d'un travail de dragages et d'excavation, mais de travail au rocher avec ces machines perforatrices et la dynamite.

C'est donc une question de machines et de force motrice.

Dans ce projet, le Chagres se déversant dans le Canal peut être considéré comme source de force motrice pour fournir l'air comprimé aux machines perfectionnées.

En effet, le Chagres, débitant 30 mètres cubes par seconde avec une chute de 13 mètres, donnerait une puissance motrice de :

$$30,000 \times 13 = 390,000 \text{ kilogrammètres,}$$

ou 5,000 chevaux, donnant un travail effectif de 2 à 3,000 chevaux.

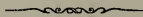
Cette puissance constante permettrait de fournir de l'air comprimé au moyen de conduites aboutissant aux chantiers de perforation.

Avec ce moyen puissant et en conduisant les travaux sans précipitation, les conditions de prix pour le percement de la Culebra sont complètement modifiées.

Pour fixer les idées à ce sujet, supposons qu'on adopte l'idée d'un tunnel de 20 mètres de largeur sur 40 mètres de hauteur avec un profil de 1,000 mètres cubes de roche à enlever par mètre courant, soit 20,000,000 de mètres cubes.

Avec la force motrice dont on dispose et en prenant le temps nécessaire, qui serait peut-être de 20 à 25 ans, le percement de la Culebra serait certainement fait à un prix inférieur à 25 francs par mètre cube, et le Canal à niveau achevé avec une dépense de 500,000,000 de francs comme prix d'entreprise.

La dépense serait notablement plus élevée pour un Canal à ciel ouvert, mais ce que nous venons de dire suffit pour montrer que l'achèvement du Canal à niveau n'offrira pas de difficultés, du moment que le transit serait assuré par une voie ferrée et que les travaux d'achèvement pourront être poursuivis sans être astreints à une limite de temps.



NOTE III

Traduction de la Lettre du Gouvernement des États-Unis de Colombie relative à la demande en concession du Chemin de fer à navires.

(La demande en concession ou autorisation de faire le transit par une voie ferrée, à laquelle cette lettre se rapporte est déjà fort ancienne et a été renouvelée en 1889.)

II. — ÉTATS-UNIS DE COLOMBIE

POUVOIR EXÉCUTIF NATIONAL

Secrétariat d'État des Bureaux de l'Agriculture et du Commerce, 5^e Section.

Branche du Commerce N^o 985.

Bogota, 16 Août 1873.

Monsieur Justo Arosamena, ministre plénipotentiaire et envoyé extraordinaire de Colombie en France et en Angleterre.

En réponse à votre Note du 22 Mai dernier, n^o 52, j'ai l'honneur de vous dire ce qui suit :

Le pouvoir exécutif ne voit aucun inconvénient à concéder à M. Sébillot une patente d'invention pour un appareil transporteur des navires d'un niveau d'eau à un autre, qu'il assure avoir imaginé.

La publication de la demande de M. Sébillot a été ordonnée dans le *Diario Oficial*, et la patente sera expédiée aussitôt qu'il y aura la preuve dans ce Bureau que les droits auront été consignés, comme le porte la première partie de l'article 13^e de Mai 1869, sur les patentes d'invention et sur l'introduction des nouvelles industries. Comme vous le savez en outre de la patente, M. Sébillot a sollicité le privilège exclusif pour construire un chemin de fer à navires et l'exploiter, propre à transporter les navires d'un Océan à l'autre, dans la partie de l'Isthme de Panama, situé à l'Orient de la

ligne idéale qui unit le Cap de Tiburon à la pointe Garachine, ou bien dans la zone comprise entre cette ligne et les limites de la République de Costa-Rica,

Au cas où la Compagnie du chemin de fer de Panama convienne avec lui à des conditions équitables.

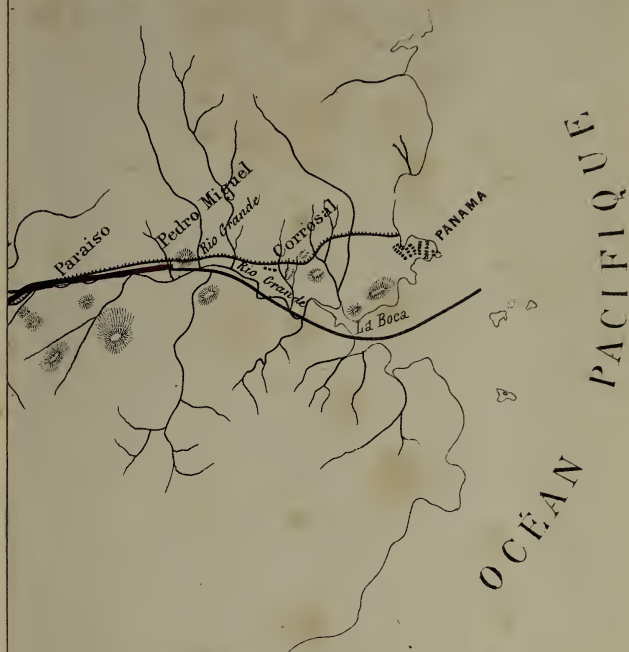
Ce point est soumis à l'examen du Congrès, tandis que le projet, qui se présente pour ce sujet, est pendant devant les Chambres.

Comme il est probable qu'il sera toujours nécessaire de s'entendre avec la Compagnie du Chemin de fer de Panama pour mettre à exécution le projet de M. Sébillot, celui-ci pourra provoquer des arrangements avec elle et compter que, vu l'importance de l'entreprise, le gouvernement interposera sa médiation auprès de ladite Compagnie, comme le désire M. Sébillot.

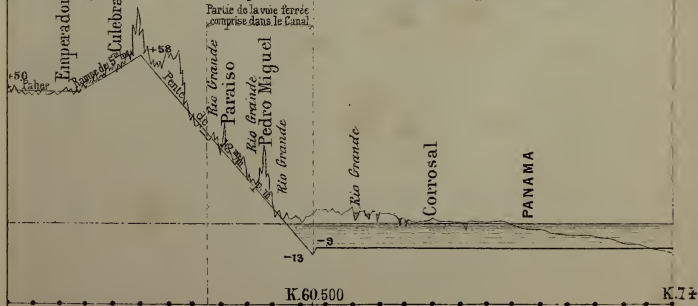
Je suis votre serviteur attentif.

Signé : AQUILA PARRA.

Pour copie, *signé* : JUSTO AROSAMENA.



Les navires par docks roulants Long. 19° 50' 00" Cana à niveau depuis le kilom. 60,500



ligne idéale qui unit le Cap de Tiburon à la pointe Garachine, ou bien dans la zone comprise entre cette ligne et les limites de la République de Costa-Rica,

Au cas où la Compagnie du chemin de fer de Panama convienne avec lui à des conditions équitables.

Ce point est soumis à l'examen du Congrès, tandis que le projet, qui se présente pour ce sujet, est pendant devant les Chambres.

Comme il est probable qu'il sera toujours nécessaire de s'entendre avec la Compagnie du Chemin de fer de Panama pour mettre à exécution le projet de M. Sébillot, celui-ci pourra provoquer des arrangements avec elle et compter que, vu l'importance de l'entreprise, le gouvernement interposera sa médiation auprès de ladite Compagnie, comme le désire M. Sébillot.

Je suis votre serviteur attentif.

Signé : AQUILA PARRA.

Pour copie, *signé* : JUSTO AROSAMENA.

3^{ME} ÉDITION

ACHÈVEMENT DU CANAL DE PANAMA

Programme de la Société Française des Chemins de Fer à Navires

18, RUE BOURSULT, PARIS

PROJET AMÉDÉE SÉBILLOT

Dépense 250 Millions
Durée des Travaux . . . 3 ans

ACHÈVEMENT DU CANAL DE PANAMA

L'œuvre de Panama arrive à un moment décisif, et le complet succès de la mission de M. Wyse a écarté la principale difficulté, en effet, la convention conclue par M. le Comte Wyse avec le gouvernement du Colombie est conçue dans des termes très libéraux, qui laissent toute facilité au liquidateur, ou à la Société qui se formerait pour l'achèvement, d'adopter tel programme de travaux qui pourra être jugé le plus avantageux.

Tous les moyens que suggère la science et que permet de réaliser l'industrie peuvent être mis en œuvre. Celui qui doit être préféré est celui qui, permettant d'effectuer le travail avec sécurité, entraînera la dépense minimum de temps et d'argent.

PROJET AMÉDÉE SÉBILLOT

Le projet est celui qui se rapproche le plus du canal à navires et qui en permet le mieux la continuation. On sait que le canal est aujourd'hui ouvert à navires jusqu'à un kilomètre 22 sur l'Atlantique et sur 4 kilomètres sur le Pacifique.

Le canal serait conduit à navires jusqu'à un kilomètre 11, ce qui, étant donnée la nature et l'étendue des terrains, peut être exécuté, à l'aide du matériel existant, avec une dépense de 90 millions. Il est d'ailleurs démontré, aujourd'hui, que, quand le canal sera ouvert, il suffira à l'équilibre des eaux du Chagres, les écluses étant espacées moins peu fréquentes, à imposer à la navigation que 3 à 4 jours d'arrêt par an, au lieu d'aller, c'est deux semaines.

La Colombie avait franchi par un chemin de fer à navires de 20 kilomètres, au moyen d'une dépense de 36 millions.

En ajoutant 6 millions pour dépenses et frais divers, le travail pourrait être terminé en 3 ans avec une dépense totale de 250 millions.

AVANTAGES DU PROJET

Le principal est qu'il est beaucoup moins cher; en effet, la commission a évalué, pour les projets à écluses, la dépense à 300 millions et le temps à 8 ans.

Le chemin de fer à navires supprime un énorme cube de terrassements et évite la grosse difficulté de l'écluse; les travaux ont lieu sur place avec la mortalité que cause le transport des terres dans les climats tropicaux.

COMBINAISON FINANCIÈRE

Le capital nécessaire, évalué à six millions de 250 millions, peut être réuni plus facilement réalisé qu'un groupe américain proposerait d'emprunter pour la même somme, à la condition d'avoir l'exécution de la moitié des travaux.

On sait d'ailleurs que l'on peut compter sur un trafic de 4,000,000 de tonnes, donnant un revenu brut de 60 millions; cet énorme pécuniaire donne de réintégrer largement le nouveau capital, tout en laissant une part importante aux actionnaires porteurs.

Le bénéfice étant assuré, il est évident que «il faut accorder un privilège de souscription aux actionnaires de Panama qui représentent 300 millions, leur intérêt



VUE D'UN DOK-Locomoteur chargée, en marche sur la voie ferrée

(Un Modèle à l'échelle de 1/1000 a fonctionné à l'Exposition de Palais de l'Industrie, Galerie des Machines, en 1879)

Récompenses obtenues: Médaille d'Or, Médaille de Vermeil
Médaille de 1^{re} classe de l'Académie Universelle des Sciences et des Arts Industriels

Le dock répond au dessein à la forme d'un grand caisson; il est formé d'un système de pontons métalliques avec un barge élastique de toutes parts; il peut ainsi descendre sous l'eau, y charger les navires qui n'ont d'autre ancrage que de venir se poser sur le plan incliné; le dock avec le navire descend sous le ponton de 500, par mètre et se transporte au bord opposé, et le navire est remis à flot au descendant une charge semblable. Les machines motrices sont renfermées dans l'intervalle entre les pontons latéraux et externes et actionnées à travers des press-étoupes, les essieux moteurs portent les transmissions d'engrenage flexibles; les roues, au nombre de 240, sont, ainsi que les rails, caténaires pour pouvoir supporter une charge de 50 tonnes; la charge est répartie sur le sol de manière à ne pas dépasser 2 kil. par centimètre carré; pour les chemins de fer ordinaires; la voie forme d'ailleurs un véritable pont continu reposant sur du béton et par conséquent insubmersible.

les porteurs à soulever d'une élévation nouvelle qui leur offrirait une compensation certaine.

Révisé à ces termes, la combinaison financière est sûre et son exécution assurée, sans que nous insistions, pour en montrer la simplicité.

CONCLUSION

Il faut que l'entreprise de Panama s'achève, c'est là un fait incontesté, mais avec la moindre dépense d'argent et de temps possible; le canal à navires partiel, avec chemin de fer à navires, réunit ces conditions.

Qu'une commission d'experts soit nommée, qui contrôlera les devis et les procédés, et qu'il soit établi une compagnie nouvelle d'achèvement, et dans trois ans, la question sera résolue; car, au lieu de l'entreprise au potentiel des sommes incalculables pour un canal à écluses, on se trouve en présence d'une solution nette, définie, étudiée dans tous ses éléments essentiels, et établie sur des devis précis qui ne comportent qu'un capital facile à réaliser.

Il permet de franchir en deux heures la distance des deux océans, et de passer au même niveau. Il offre plus de sécurité que les écluses, qui peuvent être encombrées par les troubles de la terre et les inondations.

Il permet aux navires de visiter gratuitement les lieux que pendant le trajet.

Enfin, il réserve pour l'avenir la question du canal à navires, qui peut être exécuté au même prix qu'un canal à écluses en passant la Colombie en tunnel, question qui se pose pour d'autres traversées, mais que dans un temps éloigné.

SECURITE DE CE SYSTEME

Les écluses ont été longtemps le moyen universel de franchir des différences de niveau sur les canaux; cependant on s'est servi parfois de plans inclinés ou d'ascenseurs comme aux Poudrières en France, et à Louvain en Belgique, mais le chemin de fer à navires est le moyen le plus simple, car il permet de franchir des obstacles d'une hauteur quelconque.

On système a été proposé pour Panama en 1870 par M. Amédée Sébilot qui publiera divers brochures, notamment en 1873; c'est à la suite de cette publication répandue en Amérique que les applications ont été prises.

Il y a eu ce moment quatre chemins de fer à navires en construction ou en projet: le chemin de fer de Chicago sur 27 kil. pour navires de 2,000 tonnes; celui de l'Ontario sur 25 kilomètres; celui de la Borne au lac Ontario sur 111 kil., celui de Chicago au Mississippi sur 250 kil.

En France, plusieurs projets analogues sont à l'étude et cette nouvelle industrie est appelée à de nombreuses applications.

Par suite d'un contrat avec l'ingénieur la Société des Anciens Etablissements d'ail a fait l'étude de chemins de fer à navires pour Panama, par laquelle toutes les difficultés techniques ont été résolues. Les types arrêtés pour la voie et le matériel permettent de faire le service abondamment comme pour un chemin de fer ordinaire; les docks transporteurs sont d'énormes locomotives pouvant aller à 100 kilomètres à l'heure, et pouvant prendre les navires sur l'eau et les remorquer à flot sans aucune manœuvre spéciale; la puissance de transport est ainsi illimitée.

S'adresser, pour tous renseignements, 27, Rue de Choiseul.

THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

VOIE FERRÉE POUR NAVIRES, DE PANAMA, PERMETTANT L'ACHÈVEMENT ULTÉRIEUR DU CANAL À NIVEAU

VARIANTE PAR LE PLATEAU DU LIRIO

Plan.

Echelle 1/200 000

Océan Atlantique

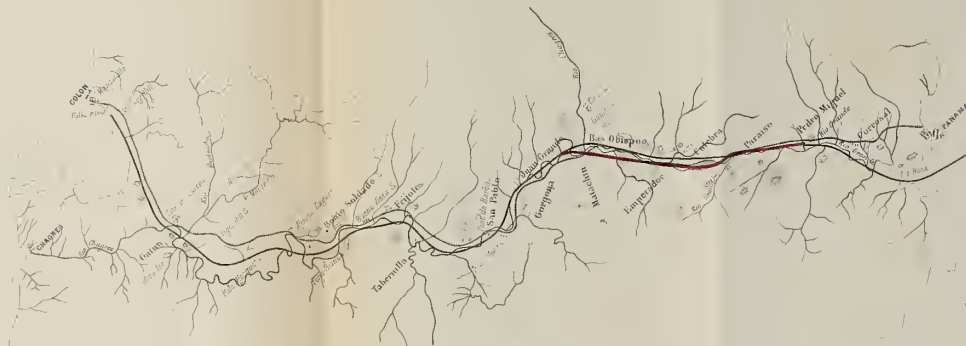
Océan Pacifique

Légende

Chemins de fer de Colombie Panama

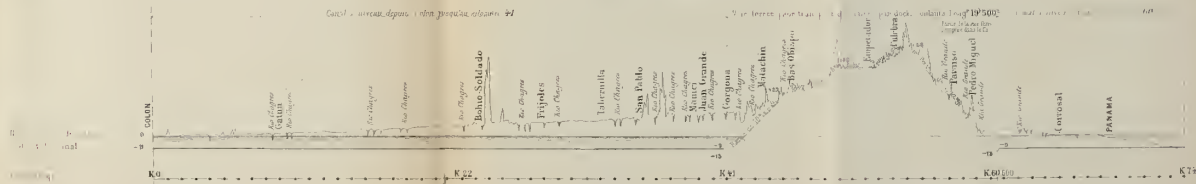
Canal à niveau

Voie ferrée pour transport de navires

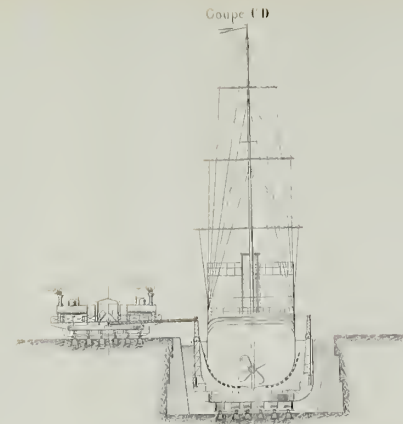
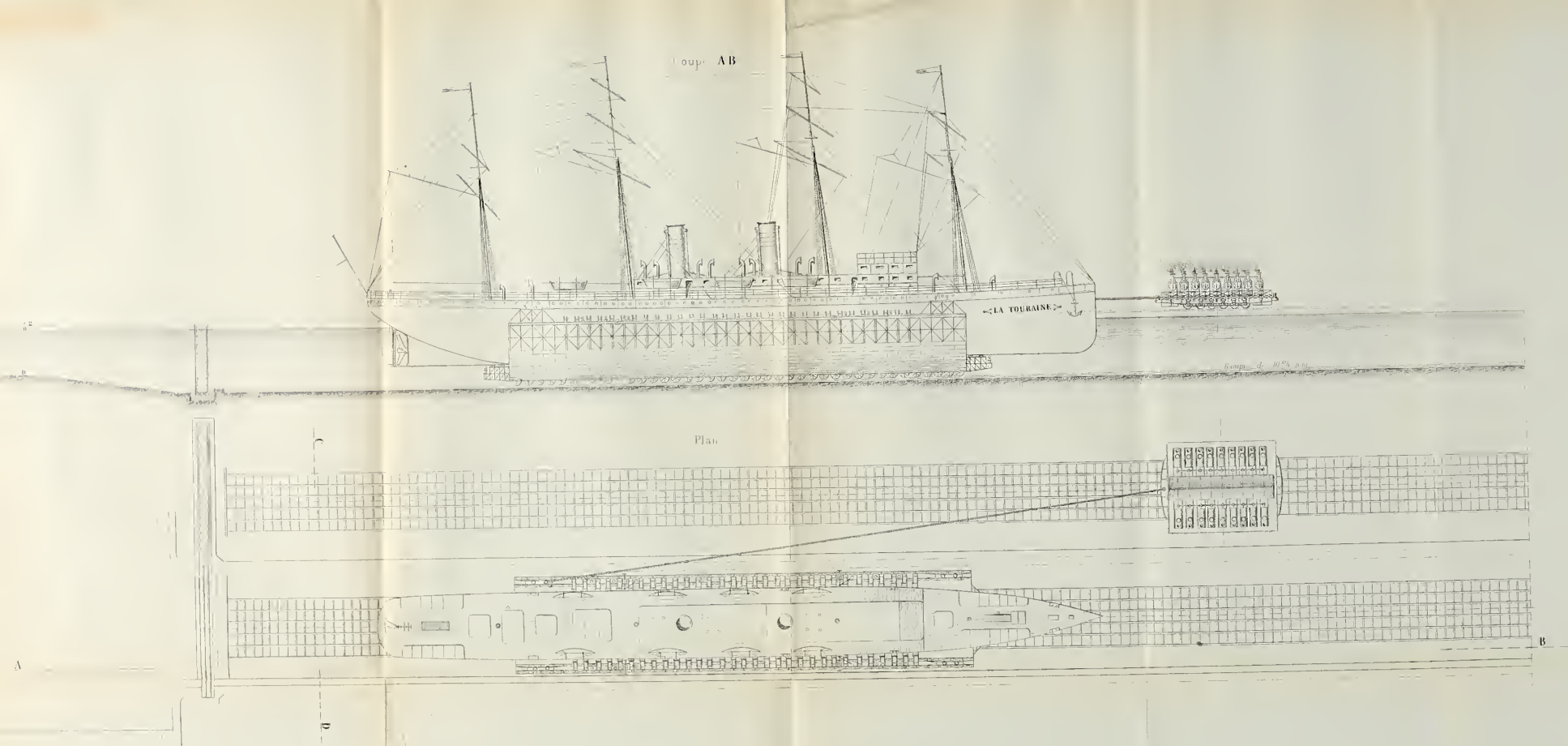


Profil en long.

Echelles { de longueurs 1/200 000
des hauteurs 1/2000



THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS



VOIE FERRÉE POUR NAVIRES, DE PANAMA, PERMETTANT

L'ACHÈVEMENT ULTÉRIEUR DU CANAL A NIVEAU

TRACTION DU DOCK ROULANT DANS LA RAMPE SOUS-MARINE

Le 10/10/1900

Nota

Le 10/10/1900, le dock roulant a été mis en service pour la première fois. Il a été utilisé pour transporter le navire 'LA TOURAINE' du canal de Panama au canal de Suez. Le dock roulant a été construit en acier et est capable de transporter des navires de 10,000 tonnes. Le dock roulant est utilisé pour transporter les navires du canal de Panama au canal de Suez. Le dock roulant a été construit en acier et est capable de transporter des navires de 10,000 tonnes. Le dock roulant est utilisé pour transporter les navires du canal de Panama au canal de Suez.



THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS